

**Màster Universitari en Enginyeria Industrial**

# **Projecte d'instal·lació de caldera de biomassa i col·lectors solars tèrmics per a calefacció i producció d'ACS en una residència per a la gent gran a Lleida.**

**TREBALL DE FI DE MÀSTER**



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**

**Escola Tècnica Superior d'Enginyeria  
Industrial de Barcelona**



**AUTOR: Miquel Antoni Fernández Oms  
DIRECTORA: Carme Pretel Sanchez**

**Barcelona, octubre de 2016**

# ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	2
1.1. Antecedents .....	2
1.2. Objectius .....	2
1.3. Abast.....	3
2. Les fonts d'energia .....	4
2.1. Energies no renovables .....	4
Combustibles Fòssils .....	4
Energia Nuclear .....	5
2.2. Energies renovables .....	5
2.2.1. Energia Solar Tèrmica.....	7
2.2.2. Biomassa .....	9
3. Descripció de la situació actual de la residència .....	14
3.1. Descripció de l'edifici .....	14
3.2. Horaris de funcionament i ocupació .....	15
3.3. Abastiment energètic actual i justificació .....	15
4. Solució proposada .....	21
4.1. Càlcul de les necessitats energètiques.....	22
4.1.1. Necessitats energètiques d'ACS .....	22
4.1.2. Necessitats energètiques de calefacció .....	23
4.2. Comparativa de necessitats calculades i consums reals .....	27
4.3. Instal·lació solar.....	29
4.3.1. Dimensionat del camp de captadors solars i estudi comparatiu .....	29
4.3.2. Dimensionat dels elements hidràulics de la instal·lació solar .....	45
4.4. Caldera de biomassa .....	65
5. Estudi de viabilitat econòmica .....	69
6. Impacte ambiental .....	71
7. Conclusions .....	73
8. Referències.....	74

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. Antecedents

Les energies fòssils són un recurs finit i per aquest motiu, un recurs cada vegada més car. La seva utilització és el principal desencadenant del canvi climàtic. La demanda energètica creix.

Diferents institucions i països s'han agrupat, per idear plans i buscar solucions a aquesta problemàtica. El protocol de Kyoto a nivell mundial, obliga a reduir les emissions de CO<sub>2</sub>, utilitzant, entre altres, equips d'alta eficiència energètica o energies renovables o l'horitzó 20-20-20 a nivell europeu.

La societat cada vegada és més conscient d'això, i per això, cada cop es preocupa més de que la l'energia que consumeix sigui el més neta i eficient possible, buscant a més un estalvi econòmic.

El consum energètic de la residència i centre de dia del barri de Balafia de Lleida, per a calefacció i producció d'aigua calenta sanitària suposa un percentatge molt gran de l'energia total que es consumeix en les seves instal·lacions. Aquesta energia tèrmica s'obté mitjançant la combustió de gas natural, sent la despesa per pagar-lo una de les més importants del centre, a més de les emissions de gasos d'efecte hivernacle que comporta.

Donat això, es pretén fer el projecte d'instal·lació d'un sistema de caldera de biomassa i captadors solars tèrmics per obtenir l'energia tèrmica necessària per a calefacció i ACS.

## 1.2. Objectius

El projecte té per objectiu la substitució de l'actual sistema producció d'energia tèrmica que funciona amb la utilització de gas natural, per un sistema combinat de caldera de biomassa i captadors solars tèrmics.

Energies, com la biomassa i la solar tèrmica, són més netes amb el medi ambient, encara que cal veure i estudiar si la inversió per a la realització d'aquest canvi és rentable i si a la llarga s'obté un estalvi en front la utilització d'energies convencionals.

### 1.3. Abast

Es donarà servei d'aigua calenta sanitària (ACS) a les instal·lacions requerides, així com per escalfar l'aigua d'abastiment dels radiadors.

Es dimensionarà el circuit primari de la instal·lació solar i de la caldera de biomassa a partir de les situacions dels captadors i calderes de biomassa que es consideren més adients. No obstant, pot haver-hi altres possibles ubicacions. S'hauria de fer doncs un altre projecte, on es contemplessin aquestes possibilitats. A més a més, s'hauria de contemplar la construcció d'un petit edifici per situar-hi les calderes, així com el dipòsit d'emmagatzematge del biocombustible. La construcció d'aquest edifici no entra dins de l'abast del projecte.

Per tant, no es contemplen així, possibles obres que es derivin de fer la instal·lació de la caldera de biomassa amb el seu dipòsit d'emmagatzematge.

## 2. Les fonts d'energia

### 2.1. Energies no renovables

Les energies no renovables són aquelles fonts d'energia que tenen un caràcter limitat en el temps i el consum de les quals implica la seva desaparició en la naturalesa sense possibilitat de renovació. Suposen entorn del 90% de l'energia que es consumeix actualment a nivell mundial i sobre les mateixes s'ha construït l'insegur model energètic actual.

Les seves principals característiques són:

- Generen emissions i residus que degraden el medi ambient.
- Són limitades.
- Provoquen dependència exterior trobant exclusivament en determinades zones del planeta.
- Creen menys llocs de treball en relació al volum de negoci que generen.
- Aconseguir el control provoca conflictes.

Així mateix, alguns estudis demostren que l'impacte mediambiental de les energies no renovables enfront de les renovables és fins a 30 vegades superior. A continuació s'enumeren alguns dels efectes negatius més rellevants:

- La pluja àcida: contingut d'àcid sulfúric que pot afectar irreversiblement els ecosistemes.
- Efecte hivernacle: escalfament del planeta i en conseqüència responsable del canvi climàtic.
- Abocaments contaminants: en zones de producció, principalment produïts pels combustibles fòssils.
- Residus radioactius perillosos: generats en el procés de fissió nuclear.
- Accidents i fugites: tant en la producció com en el transport.
- Les alteracions que produeixen aquest tipus d'energies en l'entorn són generalment irreversibles i amb conseqüències nefastes tant a nivell local com global.

Aquest tipus d'energies poden ser agrupades en dos grans grups:

### Combustibles Fòssils

Recursos generats en el passat a través de processos geobiològics i, com a conseqüència, limitats. Representen el 75% de les energies de caràcter no renovable i són els següents

- Carbó: Font energètica característica del període industrial inicial substituïda durant el segle XX per altres fonts no renovables, principalment el petroli. Té un factor d'emissió de  $\text{CO}_2$  molt elevat i les partícules emeses en suspensió són causa, entre altres coses, de

l'anomenada pluja àcida. Encara és utilitzada en determinats tipus d'indústries i com a font d'alimentació de calefacció.

- **Petroli:** Font energètica per excel·lència al llarg de tot el segle XX, sent actualment la font primària a nivell mundial. L'esgotament de les seves reserves es troba proper i la variació en els seus preus i l'acaparament per part dels països productors del mateix genera tensions a nivell mundial que estan afectant notablement a l'economia del planeta. Són destacables també els seus aspectes contaminants en els processos de producció, transport i consum.
- **Gas Natural:** Les seves dificultats per poder ser emmagatzemat i transportat van fer que no es considerés al principi, encara que la necessitat d'investigar energies alternatives a les existents van fer possible la seva utilització mitjançant xarxes de gas natural, actualment distribuïdes arreu del món, i mitjans de transport marítim adequats per a aquesta finalitat. Pot ser considerat el combustible fòssil més net, amb el mínim d'emissions de CO<sub>2</sub> i producció nul·la de partícules sòlides. El seu rendiment energètic és elevat el que permet una major producció d'energia amb menor quantitat de combustible. El seu consum va en augment i pot considerar-se dins de la seva condició de font no renovable el més sostenible dins de les alternatives existents. És considerat per molts experts com a font energètica de trànsit fins a la total implantació de les energies renovables. Ocupa el segon lloc en el percentatge de consum després del petroli.

## Energia Nuclear

L'energia elèctrica s'obté mitjançant fissió nuclear. La major problemàtica es planteja en relació a la generació i gestió dels residus radioactius i la dificultat social de localització de les centrals nuclears pel seu elevat risc.

## 2.2. Energies renovables

Com ja s'ha comentat anteriorment, es denomina energia renovable a aquella font que produeix energia de forma contínua, és inesgotable a escala humana i és una font d'abastament energètic respectuosa amb el medi ambient.

D'altra banda, són fonts d'energia que estan presents en la naturalesa gràcies a processos que són naturals. Per aquest motiu, aquestes fonts són les associades a l'aigua, a l'aire, al sol, a la calor de la terra, etc.

Exemples d'algunes d'elles que són utilitzades per l'ésser humà són:

- **Energia de l'aigua:** hidràulica, mareomotriu, corrents marins, d'onatge. Aprofita l'energia cinètica generada per les diferències de nivell dels cursos d'aigua per transformar-la en energia elèctrica.
- **Energia del Sol:** És una de les energies renovables per excel·lència i es basa en l'aprofitament de la radiació solar que arriba a la superfície terrestre i que posteriorment és transformada en electricitat o calor. Per exemple la solar fotovoltaica o solar tèrmica.

- Energia de l'aire: És la que es produeix a través de l'energia cinètica del vent transformant-la en electricitat, tot això mitjançant els anomenats aerogeneradors l'agrupació conforma les centrals eòliques.
- Calor de la terra: geotèrmica. És una energia procedent de la calor interior de la terra, utilitzat per a la seva conversió en electricitat i per aprofitaments tèrmics.
- Biomassa: És un combustible format per matèria orgànica renovable d'origen vegetal resultant de processos de transformació natural o artificial en residus biodegradables o cultius energètics.

D'altra banda, les característiques bàsiques de les energies renovables són les que es mostren a continuació:

- Sostenibilitat, ja que poden ser utilitzades indefinidament sense esgotament, és a dir sense comprometre a generacions futures.
- Disponibilitat limitada, en estar sotmesa a variacions naturals (dia - nit, estiu - hivern, etc).
- L'emmagatzematge no està generalment resolt favorablement.
- La seva utilització és sempre local, el que evita la creació de grans infraestructures associades al subministrament de combustibles, ni a l'enllaç les instal·lacions a la xarxa. Això a més vol dir que la repercussió i el suposat benefici serà, fonamentalment local.
- Elevat cost, a causa de l'amortització d'equips i manteniment.
- Sovint estan allunyades del consum, si bé estan disponibles en molts llocs de la terra.
- Molt baix, encara que possible, impacte ambiental; per exemple, la hidràulica produeix alteracions en el curs dels rius i provoca inundació de riberes. L'impacte ambiental és visual en el cas de la solar i eòlica.
- L'ús d'aquestes fonts està exempt de l'emissió neta de diòxid de carboni CO<sub>2</sub>, principal gas associat a l'efecte hivernacle.
- Socialment positiva, en generar més llocs de treball que altres fonts d'energia.
- Estalvia divises, en substituir importants importacions de combustibles fòssils i de tecnologia.
- Disminueix la dependència energètica de l'exterior del país.
- Són un objectiu polític tant a nivell europeu com nacional i regional. El suport polític a la seva promoció emana de la voluntat decidida de les administracions de tots els nivells, que han articular per a això una sèrie de mecanismes.
- Finalment, les energies renovables tenen un marc legal que reconeix els seus efectes beneficiosos i que té com a objectiu la consecució real que la seva participació en la satisfacció de les necessitats energètiques sigui molt important a mig termini. Això fa que els projectes d'energies renovables siguin una inversió rendible i segura, ja que els seus ingressos estan garantits.

A continuació s'exposen les dues fonts d'energia renovables que s'utilitzen per dur a terme aquest projecte:

### 2.2.1. Energia Solar Tèrmica

L'energia solar tèrmica consisteix en l'aprofitament directe, en forma d'escalfament o energia calorífica, de la radiació solar incident.

Generalment, es distingeix entre els aprofitaments anomenats passius i actius. Els primers corresponen a les accions de disseny en l'arquitectura que permeten que els edificis utilitzin millor els recursos energètics, tant per augmentar la temperatura a interior a l'hivern com per refrigerar-se a l'estiu.

Quan es parla d'aprofitaments actius de l'energia solar tèrmica es fa referència a sistemes basats en la captura de la radiació solar per part d'uns col·lectors mitjançant un fluid, que després transfereixen l'escalfor generada a un sistema d'utilització o d'emmagatzematge.

A diferència de l'energia solar fotovoltaica per a la producció d'electricitat, en els aprofitaments tèrmics de l'energia no hi ha conversió energètica en altres formes diferents de la transferència de calor i per tant, l'eficiència és major.

Les aplicacions d'energia solar tèrmica activa es poden classificar en tres tipologies:

- Temperatura baixa (els captadors treballen per sota de 100°C).
- Temperatura mitjana (els captadors treballen per sobre dels 100°C).
- Temperatura alta (superiors als 500°C) queden restringides a centrals termosolars.

De les tipologies enumerades anteriorment, són les de temperatura baixa les que s'apliquen en el 90% dels projectes. Tant per climatitzar una piscina com per produir aigua calenta sanitària i/o donar suport a un circuit de calefacció, els sistemes emprats no superen els 100°C de temperatura en el camp de captadors en funcionament estable, tot i que en moments puntuals aquest valor es pot superar per aturades del circuit o manca de consums.

Els principals usos que té la producció d'energia solar tèrmica són:

#### Producció d'aigua calenta sanitària

La producció d'aigua calenta sanitària és l'aplicació de l'energia solar tèrmica més comuna, donada la seva bona rendibilitat. En tractar-se d'un consum regular al llarg de l'any i a una temperatura mitjana d'entre 38°C i 40°C, la producció d'ACS és perfectament compatible amb l'aprofitament de la radiació solar.

La tecnologia emprada en aquesta utilització gira entorn de l'anomenat captador de placa plana format per un absorbidor, generalment una graella de tubs amb aletes, dins d'una caps estanca amb una coberta de vidre que a l'interior produeix l'efecte hivernacle. Tot i això en el mercat també hi ha captadors amb absorbidor de panell i sense coberta.



Aquests captadors, a diferència dels de piscina, treballen habitualment a temperatures superiors a les ambientals i arriben amb facilitat als 50º-60ºC. Les temperatures assolides pels captadors permeten emmagatzemar l'energia captada en acumuladors d'aigua que després és subministrada cap als consums.

Un bon aïllament de l'acumulador i de les canonades permet conservar l'escalfor durant la nit, de manera que es gaudeix d'aigua calenta encara que no faci sol.

Actualment, s'instal·len captadors solars per a la producció d'aigua calenta en multitud de sectors: habitatges unifamiliars, blocs comunitaris, piscina, hotels, càmpings, centres d'esport, edificis sanitaris, indústries, etc.

Les instal·lacions solars amb captadors plans no tenen límit pel que fa a les dimensions, ja que és un sistema modular que permet ampliacions i/o modificacions afegint més captadors i/o volum d'acumulació.

### Suport a la calefacció

La calefacció d'un habitatge presenta peculiaritats que fan que, tot i que resulti possible tècnicament, requereixi una anàlisi més complexa. En primer lloc cal destacar l'estacionalitat del consum (hivern), d'altra banda la gran demanda puntual que es pot necessitar (punts de consum) i, finalment, el sistema emissor utilitzat per escalfar les cambres.

L'estacionalitat de la demanda pot provocar una utilització anual baixa del sistema solar. Aquesta característica es pot minimitzar dimensionant la instal·lació per tal de cobrir només una petita part de la calefacció (15-25%) i dedicant el sistema durant la resta de l'any a la producció d'aigua calenta sanitària. La resta de necessitats per calefacció les proporciona el sistema convencional de suport. Una instal·lació encara més ben adaptada seria aquella que combinés calefacció a l'hivern amb escalfament del vas d'una piscina a l'estiu i la producció d'ACS durant tot l'any. Un equip amb aquestes prestacions podria arribar a cobrir el 60% de tot el consum energètic per a ús tèrmic d'un edifici.

Pel que fa a les puntes de consum, l'equip solar es dimensiona sempre tenint en compte unes necessitats energètiques mitjanes, de manera que es cobreixen els dèficits puntuals amb una aportació major del sistema convencional de suport.

Com que els captadors solars plans, tecnologia emprada en la majoria d'instal·lacions solars per a calefacció, treballen a temperatures baixes, és important que el disseny del sistema d'emissors de calor de l'edifici estigui pensat per transmetre escalfor a aquest rang de temperatura. En aquests casos els sistemes més emprats són:

- Terra radiant: Principalment emprat en obra nova i en rehabilitacions integrals on calgui substituir o modificar els paviments.
- Radiadors sobredimensionats: Molt adients per a espais de serveis amb amplis passadissos, corredors, etc.
- Convectors forçats "fan-coil": Ideals per a espais d'ús intermitent, com ara oficines.

### Escalfament de piscines

Una forma eficient, neta i econòmica d'escalfar l'aigua de les piscines per assolir temperatures agradables és mitjançant l'energia solar. Amb la utilització de captadors senzills es pot aconseguir augmentar la temperatura de l'aigua fins als 23<sup>o</sup>-28<sup>o</sup>C (rang de confort).

Les instal·lacions de climatització de piscines amb energia solar utilitzen una tecnologia força simple i comprovada en multitud d'instal·lacions escampades per tot Europa. La gran fiabilitat i durabilitat d'aquests sistemes, la quasi nul·la necessitat de manteniment i el fet que aprofitin una font energètica gratuïta són les raons que fan que sigui un sector en fort creixement.

#### Refrigeració amb energia solar

Encara que aquesta és una aplicació de l'energia solar no gaire estesa, cal tenir en compte les seves possibilitats i un fort desenvolupament en els propers anys.

La refrigeració presenta la màxima demanda d'energia en les èpoques de l'any amb més radiació solar, fins i tot en les hores que més energia es rep.

Els sistemes actuals consten d'un camp de col·lectors solars que funcionen a temperatures elevades, al voltant dels 85-90<sup>o</sup>C en combinació amb una màquina de cicle d'absorció, generalment de bromur de liti-aigua.

Aquestes instal·lacions troben la màxima rendibilitat en funcionament reversible, refrigeració a l'estiu i calefacció a l'hivern.

Per tal de poder treballar a aquestes temperatures els captadors emprats són els de tubs de buit o els de tipus CPC, on uns reflectors cilindroparabòlics concentren la radiació solar sobre l'absorbidor.

### **2.2.2. Biomassa**

La biomassa engloba tot el conjunt de la matèria orgànica renovable d'origen vegetal o animal, o procedent de la seva transformació natural o artificial i que es pot utilitzar per a finalitats energètiques. En aquest projecte, la biomassa s'entén com a font d'energia per a equips generadors de calor per a produir calefacció i aigua calenta sanitària, així doncs delimitem la definició de biomassa a aquells combustibles sòlids orgànics d'origen renovable del tipus llenyós.

La biomassa es pot classificar segons el seu origen. Així tenim:

- Origen forestal: subproductes utilitzables com a combustibles com, per exemple:
  - Arbres no valoritzables en l'activitat de la indústria forestal, com poden ser els arbres de diàmetre petit, bifurcats, morts en peu i torts.
  - Serradures i capçades, branques, escorça, soques i arrels que les activitats de les indústries forestals no aprofiten.
- Origen agrícola: subproductes provinents d'activitats agroalimentàries i explotacions i processos agrícoles.
- Cultius energètics.
- Residus de fusta.

També podem classificar-la en funció del producte final, així, els principals biocombustibles sòlids que ens podem trobar al mercat són:

- Pèl·let de fusta: biocombustible sòlid format per la compactació de subproductes provinents de la indústria de la fusta, majoritàriament serradures i encenalls. La compactació es dona com a resultat d'una aplicació combinada de calor i alta pressió en una màquina que força el pas de la matèria primera, prèviament homogeneïtzada, a través d'un motlle amb forats de la mida que es vulgui. Aquest és un procés de densificació, amb el qual incrementem el valor energètic per unitat de volum. La seva homogeneïtat i característiques físiques permeten una manipulació i emmagatzematge fàcil, donant-li unes característiques ideals com a combustible per a calderes i estufes de biomassa.



**Imatge 2.1. Mostra de pèl·let.**

- Estella forestal: prové de la trituració de material llenyós procedent del bosc o bé del subproducte de l'activitat de les serradores i altres indústries forestals. La qualitat de l'estella forestal ve determinada principalment per l'espècie, la humitat, la granulometria i el contingut en cendres.



**Imatge 2.2. Mostra d'estella.**

- Llenya i briquetes: La llenya és un combustible poc utilitzat en les calderes de biomassa actuals per la necessitat d'alimentació manual. És una bona opció per als usuaris que tenen fusta a l'abast i, alhora, espai per a instal·lar un sistema d'emmagatzematge. Les briquetes

són cilindres de fusta compactada amb dimensions més grans que el pèl·let de fusta. Són poc conegudes al mercat actual i sovint una solució a problemes d'emmagatzematge de serradures i encenalls a les fusteries.

- Subproductes agroindustrials: provinents de l'activitat industrial, al mercat actual hi ha una gran varietat de subproductes agrícoles. Els més destacats són el pinyol d'oliva, la closca dels fruits secs i, en l'àmbit més industrial, hi ha el granet i la brisa del raïm, el marro del cafè, la palla dels cereals o el canyís.

### Caracterització dels biocombustibles

La caracterització dels biocombustibles sòlids ve determinada, de manera general, per un seguit d'aspectes que els són propis. La qualitat i la caracterització dels biocombustibles és un aspecte de vital importància.

#### a) Granulometria

La dimensió del producte és un paràmetre important que especifica el fabricant de la caldera i del sistema d'alimentació. En productes com l'estella forestal, és un dels aspectes més importants. El fet de garantir unes dimensions d'estella és necessari per a evitar problemes d'alimentació en els equips.

La granulometria del producte també és un aspecte important per a preveure'n la disposició i la capacitat de fer piles piramidals. El producte pot afectar la capacitat real de la sitja i per això cal aplicar els factors correctors segons el tipus de biomassa.

#### b) Contingut d'humitat

El contingut d'humitat dels biocombustibles és un aspecte fonamental que marca la qualitat energètica del producte. Les calderes tenen un límit d'acceptació de percentatge màxim d'humitat. En calderes d'estella forestal aquest límit és habitualment del 30%, encara que alguns equips de gran potència arriben a tolerar fins a un 50% d'humitat.

Per aconseguir biomassa amb percentatges d'humitat sobre base humida per sota del 20% cal fer servir sistemes d'assecatge forçats amb diferents tecnologies.

El pèl·let és un exemple de biomassa assecada forçadament. L'assecatge és indispensable per a garantir una fusta d'un alt poder calorífic i aconseguir una compactació adequada (el pèl·let amb humitat per sobre del 12% en base humida es desfà i queda esquerdat).

La humitat també és un factor que té incidència en els problemes d'auto ignició. En l'emmagatzematge d'estella i serradures humides es pot arribar a temperatures tan elevades que s'encengui la fusta. També és un procés que afavoreix la descomposició de la biomassa. Aquesta activitat dels fongs sobre la fusta no solament implica la degradació de la lignina i, per tant, la disminució del PCI, sinó també un augment de la concentració d'espores en l'ambient.

#### c) Poder calorífic inferior (PCI)

El poder calorífic determina la quantitat d'energia tèrmica per unitat de massa d'un combustible, tenint en compte el seu contingut d'aigua.

El poder calorífic superior (PCS) és la quantitat d'energia obtinguda de la combustió completa d'una unitat de massa, tenint en compte la calor despresa de la condensació del vapor d'aigua originat.

El poder calorífic inferior (PCI) és la quantitat d'energia obtinguda de la combustió completa d'una unitat de massa, sense tenir en compte la calor latent del vapor d'aigua.

De manera genèrica, s'acostuma a expressar aquest valor en watts, calories o joules, per unitat de massa (kW/kg, kcal/kg, MJ/kg).

A la pràctica s'utilitza habitualment el PCI, ja que la calor de condensació no s'acostuma a aprofitar.

#### d) Contingut en cendres

El contingut en cendres és un paràmetre limitant que determina el manteniment i la periodicitat en la neteja de la caldera i també l'eficiència que té. Els equips que no disposen d'un sistema eficient de neteja dels seus bescanviadors acostumen a ser menys eficients a causa dels dipòsits de cendres, que disminueixen la capacitat de transmissivitat tèrmica del bescanviador.

La composició química de les cendres també és un aspecte molt important, a més de la temperatura de fusibilitat de les cendres, que és la temperatura a la qual les cendres es fonen i formen elements minerals, podent produir incrustacions. Aquest fenomen està estretament lligat a la quantitat d'àlcalis que té la fusta juntament amb altres elements problemàtics com són el clor i el sofre.

La formació d'incrustacions i dipòsits sobre la graella i els bescanviadors de calor de les calderes en fa disminuir el rendiment, pel fet que hi ha menys bescanvi de calor. També redueix el pas dels gasos sobre els conductes afectats per les incrustacions i és la causa de fenòmens de corrosió.

L'emissió de partícules en suspensió està lligada al contingut en cendres dels biocombustibles. És important ressenyar que les cendres estan formades per minerals, en la majoria dels casos adients per a ser utilitzats com a adobs en horts domèstics. A escala industrial, la gestió de les cendres passa per una anàlisi que determina la possibilitat de retornar-les al bosc o a terres agrícoles. Aquesta gestió és inviable només en casos particulars de concentracions de materials pesants.

En la majoria dels casos, les cendres es podran utilitzar com a fertilitzant, en funció de la composició que tinguin. Només en els casos en què les cendres continguin elements químics que siguin perjudicials per als cultius, caldrà tractar-les com un residu i fer-ne la gestió o el tractament adient.

#### e) Contingut en fins

Tal com passa amb el contingut de cendres, el contingut en fins és un paràmetre determinant en calderes i estufes d'alta eficiència que treballin amb combustible de qualitat elevada.

Els continguts alts en pols afecten la combustió perquè les partícules petites i disgregades cremen més ràpidament en tenir un major contacte amb el carburant. Això també fa augmentar el risc d'explosió, ja que la caldera pot vaporitzar ràpidament i arribar a concentracions explosives de gasos combustibles.

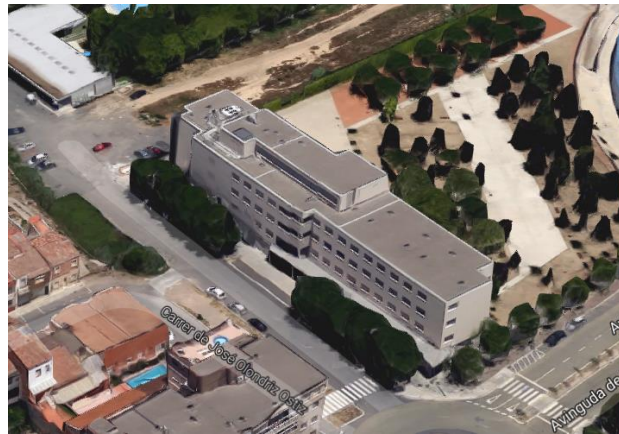
#### Usos de la biomassa

La biomassa es crema per obtenir calor. Cremar-la simplement per produir escalfor en un llar de foc o, i aquest és l'aprofitament més interessant, cremar-la en una caldera especialment preparada per aquest fi, per escalfar aigua que s'envia a un procés com pot ser, escalfor per una granja de pollets, climatització de piscines o com a sistema de calefacció i ACS en vivendes.

### 3. Descripció de la situació actual de la residència

#### 3.1. Descripció de l'edifici

La residència i centre de dia per a la gent gran que es tracta, està situada a la ciutat de Lleida, concretament al barri de Balafra, al carrer de Jose Olondriz Ostiz sense número. Es tracta d'un edifici de 5 pisos d'altura en total: planta baixa, tres pisos d'habitacions per als residents i un quart pis, de planta inferior a la resta.



Imatge 3.1. Vista aèria de l'edifici. Font: Google Maps.

Les plantes tenen distribucions diferents i indicades en els plànols del projecte.

A la planta baixa s'hi troba el centre de dia, la recepció, oficines (de direcció i personal administratiu), consultes mèdiques i sales polivalents per fer activitats de tot tipus per als residents. També hi ha la cuina. La superfície total d'aquest planta es 1012,25 m<sup>2</sup>.

La primera, segona i tercera plantes tenen distribucions idèntiques. Hi ha les habitacions dels residents, sales de visita i els menjadors de cada planta. La superfície habitable de cadascuna d'aquestes plantes és de 964 m<sup>2</sup>

Finalment una quarta planta de superfície inferior a la resta (255,4 m<sup>2</sup>) i que conté, sales de màquines, zones de magatzem i la bugaderia.

PLANTA	SUPERFÍCIE (m <sup>2</sup> )
PB	1012,5
1	964
2	964
3	964
4	255,4

Taula 3.1. Resum de superfícies de l'edifici.



### 3.2. Horaris de funcionament i ocupació

La residència està oberta les 24 hores dels 365 dies de l'any. Per tant la demanda d'energia tèrmica no es veu interrompuda al llarg de l'any per parades del propi centre. El nombre de residents es manté constant al llarg de l'any i és de 96 residents fixes, és a dir, que viuen dins del mateix edifici, i 30 usuaris que utilitzen el centre de dia, és a dir que venen a passar la jornada al centre però que passen la nit fora. També es compten els treballadors de la residència: personal administratiu, sanitari, etc. Es contemplen 20 persones.

### 3.3. Abastiment energètic actual i justificació

Per cobrir la demanda energètica existent, actualment la residència utilitza gas natural provinent de la pròpia xarxa de distribució de la ciutat, aquest gas es utilitza per a la producció d'ACS i l'energia tèrmica per abastir les necessitats de calefacció mitjançant radiadors.



Imatge 3.2. Tub de gas que dona subministre a les calderes.





**Imatge 3.3. Dipòsit d'acumulació d'ACS.**

L'edifici només compta amb radiadors a les habitacions dels residents. La resta la residència està climatitzada gracies a una planta refredadora.

Per tal de refrigerar un conjunt de zones que la propietat va decidir, es va projectar la creació d'una instal·lació de refrigeració. Aquesta està formada per una planta refredadora que alimenta a un conjunt d'unitats terminals (climatitzadors i fan-coils) instal·lats a les zones a tractar.

La central de producció d'aigua freda per a refrigeració estarà formada per una única planta refredadora d'accionament elèctric, que s'instal·la a la terrassa a la planta coberta. Es tracta d'una planta refredadora d'aigua condensada per aire amb compressors hermètics scroll i ventiladors helicoïdals. Les característiques es detallen a continuació.

- Marca : CARRIER
- Model : 30RA 200
- Capacitat frigorífica : 202 kW
- Compressors (núm./tipus) : 2+3 / scroll
- Etapes fraccionament : 5
- Ventiladors (núm./tipus) : 4 / axials
- Potència absorbida : 104,2 kW
- Refrigerant : R-407C



**Imatge 3.4. Plana refredadora situada a la coberta de l'edifici.**

Quan es va dissenyar la instal·lació, es va dimensionar una potència tèrmica nominal de 380kW. Aquesta potència s'aconsegueix tenint un grup de 3 calderes de 126 kW cadascuna connectades en sèrie.



**Imatge 3.5. Placa grup de calderes de gas actuals.**



**Imatge 3.6. Placa d'una de les calderes del grup.**

Ara però aquesta potència no es pot aconseguir de cap manera. Una de les tres calderes de 126 kW està trencada i per tant no es operativa. La potència nominal de les calderes és ara doncs de 252kW.



**Imatge 3.7. Calderes de gas natural actuals.**

La demanda energètica es cobreix tenint aquestes dues calderes en servei. La problemàtica rau en que ara aquestes calderes han de funcionar durant més hores per produir l'energia tèrmica exigida.

Funcionar durant més hores comporta que puguin sorgir més problemes i per tant el risc de que una caldera de les dues falli es més gran. Això pot fer que en cas de disposar només d'una caldera (perquè l'altra ha fallat), no s'arribi a cobrir la totalitat de la demanda.

Aquesta problemàtica, juntament amb que les calderes són de l'any 2004 (12 anys) fa que es plantegi estudiar la seva substitució, buscant alternatives renovables..

El temps mitjà durant el qual calderes de gas d'aquest tipus donen servei és d'uns 10 anys, encara que pot ser que gràcies a un bon manteniment arribin fins i tot als 20 anys de funcionament. El rendiment de la combustió decau al llarg del temps de funcionament de la caldera. Això vol dir que per mantenir una mateixa potència de funcionament calgui cremar més quantitat de gas al final de la vida útil de l'aparell que no pas al principi.



**Imatge 3.8. Vas d'expansió circuit de calefacció.**



**Imatge 3.9. Vas d'expansió del circuit d'ACS.**

A continuació es mostren els consums de gas natural mes a mes i l'energia que s'obté d'aquest considerant un rendiment de la caldera del 90%. Les dades s'han obtingut a partir de la mitjana del les dades de consum dels anys 2012 a 2015.

Dada: PCI gas natural = 10,83 kWh/m<sup>3</sup>

Consum de Gas (m <sup>3</sup> )						
Mes \ Any	2012	2013	2014	2015	Mitjana	Energia gas natural (kWh)
Gener	7.883,50	7.711,50	6.395,00	8.419,50	7.602,38	74.100,35
Febrer	7.787,00	5.981,00	5.962,50	6.367,50	6.524,50	63.594,30
Març	5.865,50	4.597,50	4.998,50	4.673,50	5.033,75	49.063,96
Abril	3.673,50	3.635,00	3.716,00	3.527,00	3.637,88	35.458,37
Maig	2.305,50	3.066,00	2.522,00	2.337,50	2.557,75	24.930,39
Juny	1.539,00	2.410,50	1.741,00	1.695,50	1.846,50	17.997,84
Juliol	1.497,50	1.826,00	1.872,00	1.607,00	1.700,63	16.575,99
Agost	1.706,50	1.579,50	1.703,50	1.368,50	1.589,50	15.492,86
Setembre	1.655,00	1.691,00	1.628,50	1.600,50	1.643,75	16.021,63
Octubre	2.927,50	2.255,50	2.202,00	2.465,50	2.462,63	24.003,21
Novembre	5.370,00	4.942,50	4.196,00	4.642,50	4.787,75	46.666,20
Desembre	7.384,50	7.183,00	7.621,50	7.856,50	7.511,38	73.213,37
Total	49.595,00	46.879,00	44.558,50	46.561,00	46.898,38	457.118,46

Taula 3.2. Taula consums de gas i energia obtinguda. Dades facilitades per l'administració de la residència.

Aquesta es la demanda energètica de tota la instal·lació descrita (ACS i calefacció).

## 4. Solució proposada

La solució proposada consisteix en canviar la font d'on s'obté l'energia, passant del gas natural a la utilització d'una combinació de solar tèrmica amb biomassa.

El cobriment de la demanda d'ACS es realitzarà a partir de l'energia captada pels col·lectors solars. Per molt que aquesta instal·lació estigui dissenyada per optimitzar la captació durant el període d'hivern, cobrir el 100% de la demanda serà impossible. Per això aquest sistema tindrà el suport de la instal·lació de biomassa per arribar a cobrir la totalitat de l'energia requerida per l'ACS.

No té sentit utilitzar els captadors solars per al cobriment de la demanda de calefacció amb radiadors per dos motius principals:

La temperatura de servei de l'aigua requerida per aquesta funció és molt difícil d'aconseguir i sempre requerirà d'un sistema de suport per arribar a la temperatura de consigna. Es pot estudiar la possibilitat que els captadors utilitzats siguin de tubs de buit. Aquests tenen una capacitat de concertació major, permetent obtenir temperatures majors i requerint de menys superfície de captació per a unes mateixes necessitats energètiques.

També cal dir que les instal·lacions de captació solar que utilitzen col·lectors de tubs de buit són més cares. Si no es tenen problemes d'espai per a la instal·lació de les plaques, la millor opció es instal·lar col·lectors plans.

L'altre motiu és que hi ha alguns mesos en els quals la demanda de calefacció és inexistent. Això vol dir que si la instal·lació es calcula per cobrir la demanda de calefacció, estarà sobredimensionada a l'estiu. Això no interessa, doncs a la llarga això pot dur a caigudes de rendiment de la instal·lació solar a necessitats majors de manteniment.

Per la part de producció d'energia tèrmica de calefacció s'utilitzarà com a font energètica la biomassa.

La instal·lació projectada comptarà amb el suport de la caldera de gas que hi ha instal·lada actualment. No estarà operativa gairebé mai però cobrirà el subministra energètic durant tasques de manteniment o reparacions de la resta d'instal·lacions. Pot ser també que es produeixen condicions meteorològiques excepcionals en un moment donat i es necessiti del suport del gas natural per garantir el confort.

## 4.1. Càlcul de les necessitats energètiques

### 4.1.1. Necessitats energètiques d'ACS

El nombre d'usuaris es considerarà constant al llarg de tots els mesos de l'any i tindrà un valor de 96 usuaris. Aquests usuaris són els usuaris fixes, residents que viuen durant tot l'any a la residència. També es comptabilitzen els treballadors de la residència i els usuaris del centre de dia. Es xifren en 50 persones.

Lògicament, aquest valor pot fluctuar però es molt aproximatiu de les condicions que es donen en de manera continua a l'edifici.

Per tant, les dades de les que es disposa són:

usuaris centre dia i personal sanitari	50
consum persona i dia (litres/usuari) a 60°C	10
usuaris fixes	96
consum persona i dia (litres/usuari) a 60°C	41
consum diari ACS (litres)	4436

Mes	T xarxa (°C)	T servei (°C)	litres/dia	Q diari (kcal)	Q diari (kWh)	Q mensual (kWh)
Gener	7	60	4.436	235.108	273,70	8.484,69
Febrer	9	60	4.436	226.236	263,37	7.374,40
Març	10	60	4.436	221.800	258,21	8.004,42
Abril	12	60	4.436	212.928	247,88	7.436,37
Maig	15	60	4.436	199.620	232,39	7.203,98
Juny	17	60	4.436	190.748	222,06	6.661,75
Juliol	20	60	4.436	177.440	206,57	6.403,54
Agost	19	60	4.436	181.876	211,73	6.563,63
Setembre	17	60	4.436	190.748	222,06	6.661,75
Octubre	14	60	4.436	204.056	237,55	7.364,07
Novembre	10	60	4.436	221.800	258,21	7.746,22
Desembre	7	60	4.436	235.108	273,70	8.484,69
Total = 88.389,49 kWh						

Taula 4.1. Càlcul de les necessitats d'ACS.

Nota: Les dades de temperatura de xarxa i de consum (litres/usuari) s'han extret del "Pliego de Condiciones Técnicas en Instalaciones de Baja Temperatura" [Ref. 1].



Per al càlcul s'ha utilitzat:

$$Q(kcal) = V * \rho * Ce * \Delta T \quad \text{[Equació 4.1.]}$$

On:

- V = Volum (litres)
- $\rho$  = Densitat de l'aigua (1 kg/litre)
- Ce = Calor necessari per augmentar 1 °C 1 kg d'aigua = 1kcal / kg °C
- $\Delta T$  = Temperatura de servei – Temperatura aigua de xarxa

A continuació es mostra una taula de consums on es mostra quina part de la demanda total d'energia va destinada a ACS i quina a cobrir la resta de la demanda.

	ACS (kWh)	Total (kWh)
Gener	8.484,69	74.212,08
Febrer	7.374,40	64.113,93
Març	8.004,42	51.415,82
Abril	7.436,37	38.247,52
Maig	7.203,98	27.835,19
Juny	6.661,75	14.180,91
Juliol	6.403,54	11.489,77
Agost	6.563,63	11.028,24
Setembre	6.661,75	15.341,16
Octubre	7.364,07	26.652,00
Novembre	7.746,22	50.417,33
Desembre	8.484,69	74.807,38
<b>Total</b>	<b>88.389,49</b>	<b>459.741,33</b>
<b>Percentatge</b>	<b>19,23%</b>	<b>100,00%</b>

Taula 4.2. Proporció de demanda.

#### 4.1.2. Necessitats energètiques de calefacció

Aquestes necessitats són les que es tenen un cop quantificades les pèrdues a través dels tancaments de l'edifici. Com s'ha dit únicament funcionen amb calefacció per radiadors les habitacions que es troben entre la primera i tercera plantes i tocat amb la part exterior de l'edifici. La tercera planta també limita amb la coberta de l'edifici.

Els passadissos, oficines i zones comuns (climatitzats per la màquina de fred) es considera que es troben a la mateixa de temperatura que les habitacions de 24 graus. Per tant, per a la realització dels càlculs es considera que només es té transmissió de calor entre les parets de les habitacions cap a l'exterior i no entre les parets de les habitacions entre si i entre les parets de les habitacions i altres sales climatitzades ja que es troben a la mateixa temperatura.

Per fer-ho es calculen les pèrdues per transmissió i per radiació de les parets.



Pèrdues per transmissió:

S'utilitza la formula de transferència de calor:

$$Pt = S * k * \Delta T$$

[Equació 4.2.]

On:

- S : Superfície de material en m<sup>2</sup>.
- k : Coeficient de transferència de calor del material en (W/m<sup>2</sup> °C).
- ΔT : Diferència de temperatura entre els dos costats de la superfície en °C.

Ens cal conèixer les dades anterior per calcular aquestes pèrdues.

Per a calcular ΔT es disposa de la temperatura mitjana exterior mes a mes dels últims 4 anys, els mateixos dels que es disposa de consums quantificats en m<sup>3</sup> (Font: INE, Instiuto Nacional de Estadística)

Mes	T mitja mensual (°C)	T confort (°C)	ΔT (°C)
Gener	6,1	24	17,9
Febrer	6,8	24	17,2
Març	11,6	24	12,4
Abril	14,6	24	9,4
Maig	17,6	24	6,4
Juny	23,0	24	1,0
Juliol	25,1	24	-1,1
Agost	25,6	24	-1,6
Setembre	21,8	24	2,2
Octubre	18,1	24	5,9
Novembre	11,0	24	13,0
Desembre	5,6	24	18,4

Taula 4.3. Increments de temperatura.

També de la superfície de transmissió de cada material calculada a partir dels plànols que s'annexen i de les k de transmissió de cada tipus de tancament, extretes del projecte de la planta refredadora (apartat 3.3.).

	m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> °C
Superfície de paret exterior 3 plantes	1206	0,93128
Superfície de vidres: 3 plantes	369	2,91025
Superfície sostre amb terrassa o sense: 1 planta	964	1,1641

Taula 4.4. Superfícies i coeficients k per a cada material.

A partir d'aquí i aplicant l'equació 4.2. s'obtenen les pèrdues per transmissió:

Mes	Pt parets (kW)	Pt vidres (kW)	Pt coberta (kW)	Pt total (kW)
Gener	20,07	19,19	20,05	59,30
Febrer	19,32	18,47	19,30	57,09
Març	13,93	13,32	13,92	41,16
Abril	10,56	10,09	10,55	31,20
Maig	7,15	6,84	7,14	21,13
Juny	1,16	1,11	1,16	3,43
Juliol	-1,27	-1,22	-1,27	-3,76
Agost	-1,83	-1,75	-1,83	-5,42
Setembre	2,51	2,40	2,51	7,41
Octubre	6,66	6,37	6,66	19,69
Novembre	14,60	13,96	14,59	43,15
Desembre	20,70	19,80	20,69	61,18

Taula 4.5. Pèrdues per transmissió.

Pèrdues per radiació:

Caldrà calcular la temperatura interior de la superfície dels tancaments. Per fer-ho es pot fer la hipòtesi d'igualar les pèrdues per transmissió i convecció interior i aïllar d'aquesta equació la temperatura que es busca.

L'equació que s'utilitza és:

$$T_s = T_{int} - k * (1 \div H) * \Delta T \quad [Equació 4.3.]$$

On:

- $T_s$  : Temperatura de la superfície interior dels tancaments en °C.
- $T_{int}$ : Temperatura interior de la sala en °C.
- $k$  : Coeficient de transferència de calor del material en (W/m<sup>2</sup> °C).
- $H$ : Coeficient de convecció de l'element en (W/m<sup>2</sup> °C).
- $\Delta T$  : Diferència de temperatura entre els dos costats de la superfície en °C. (Calculat en pèrdues per transmissió).

Els valors de 1/H dels que es disposa són:

Material	1/H=1/ (W/m <sup>2</sup> °C)
Vidre	0,1
Coberta	0,09
Murs	0,09

Taula 4.6. Inversa del coeficient H.

A partir d'aquí i aplicant l'equació 4.3. s'obtenen les temperatures mitjanes interiors dels tancaments:

Mes	Ts_mur (°C)	Ts_vid (°C)	Ts_cob (°C)
Gener	22,50	18,80	22,13
Febrer	22,56	18,99	22,20
Març	22,96	20,39	22,70
Abril	23,21	21,26	23,02
Maig	23,47	22,15	23,33
Juny	23,91	23,70	23,89
Juliol	24,09	24,33	24,12
Agost	24,14	24,48	24,17
Setembre	23,81	23,35	23,77
Octubre	23,50	22,27	23,38
Novembre	22,91	20,22	22,64
Desembre	22,46	18,64	22,07

Taula 4.7. Temperatura interior dels tancaments.

Ara ja es poden calcular les pèrdues per radiació. Per fer-ho s'aplica l'equació de transferència de calor per radiació:

$$Prad = \varepsilon * \sigma * S * \Delta T^4 \quad [Equació 4.4.]$$

On:

- $\varepsilon$  : Emissivitat de la substància. Es considera un valor de 0,95
- $\sigma$  : Constant d'Stefan-Boltzmann=  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ .
- $S$  : Superfície del material en  $\text{m}^2$
- $\Delta T^4$  : Diferència de temperatura entre la superfície i la temperatura ambient en graus Kelvin (K).

Finalment es té:

Mes	Prad parets (kW)	Prad vidres (kW)	Prad coberta (kW)	Prad totals (kW)
Gener	10,13	10,57	10,11	30,80
Febrer	9,76	10,18	9,73	29,67
Març	7,05	7,39	7,03	21,47
Abril	5,35	5,63	5,34	16,32
Maig	3,63	3,83	3,62	11,08
Juny	0,59	0,63	0,59	1,81
Juliol	-0,65	-0,69	-0,65	-1,98
Agost	-0,93	-0,99	-0,93	-2,86
Setembre	1,27	1,35	1,27	3,90
Octubre	3,38	3,57	3,38	10,33
Novembre	7,39	7,74	7,37	22,50
Desembre	10,45	10,89	10,42	31,77

Taula 4.8. Pèrdues per radiació.

El total de pèrdues es la suma dels camps anteriorment calculats. Multiplicant-ho per les hores de cada mes s'obté l'energia total requerida per a calefacció. En els mesos de Juliol i Agost no hi ha pèrdues per aquest concepte.

Les pèrdues per infiltració s'han considerat despreciables ja que al tractar-se d'un edifici nou (10 anys d'antiguitat) i amb acabats d'alta qualitat, aquestes son molt petites.

Mes	Ptotals (kW)	Energia total (kWh)
Gener	90,11	67.038,86
Febrer	86,76	58.302,73
Març	62,63	46.598,31
Abril	47,52	34.213,87
Maig	32,21	23.966,13
Juny	5,24	3.769,99
Juliol	-5,75	
Agost	-8,28	
Setembre	11,31	8.145,28
Octubre	30,02	22.337,66
Novembre	65,65	47.269,20
Desembre	92,95	69.154,14

Taula 4.9. Necessitats energètiques calculades.

## 4.2. Comparativa de necessitats calculades i consums reals

Mirant la taula següent, s'observa que, encara que s'aproximen, hi ha diferències entre les necessitats energètiques que es deriven dels consums reals i de les necessitats calculades numèricament.

	Calefacció	ACS	Total calculat	Total consums	Mitjana
Gener	67.038,86	8.484,69	75.523,55	74.100,35	74.811,95
Febrer	58.302,73	7.374,40	65.677,13	63.594,30	64.635,72
Març	46.598,31	8.004,42	54.602,74	49.063,96	51.833,35
Abril	34.213,87	7.436,37	41.650,23	35.458,37	38.554,30
Maig	23.966,13	7.203,98	31.170,11	24.930,39	28.050,25
Juny	3.769,99	6.661,75	10.431,74	17.997,84	14.214,79
Juliol		6.403,54	6.403,54	16.575,99	11.489,77
Agost		6.563,63	6.563,63	15.492,86	11.028,24
Setembre	8.145,28	6.661,75	14.807,02	16.021,63	15.414,33
Octubre	22.337,66	7.364,07	29.701,73	24.003,21	26.852,47
Novembre	47.269,20	7.746,22	55.015,42	46.666,20	50.840,81
Desembre	69.154,14	8.484,69	77.638,83	73.213,37	75.426,10

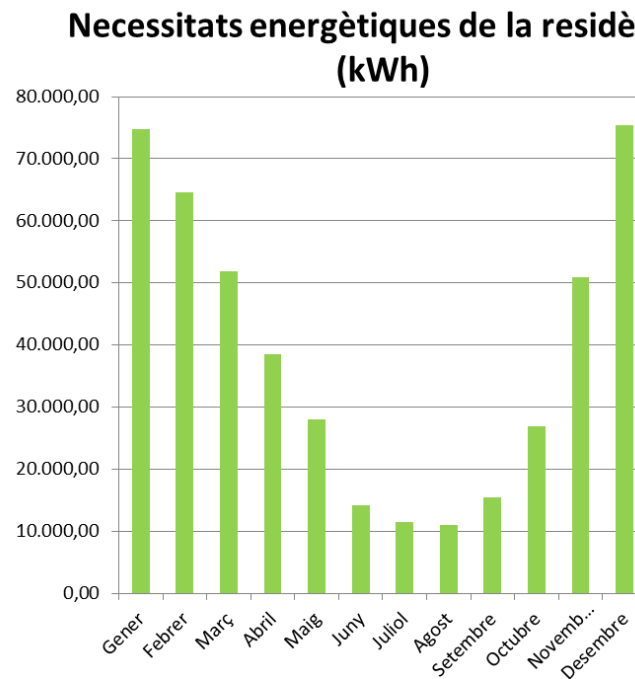
Taula 4.10. Resum i comparativa de les necessitats energètiques.

D'aquestes diferències se'n poden treure dues conclusions:

1- Realment no hi ha necessitats de calefacció durant els mesos de Juliol i Agost. La diferència que hi ha entre els consums a partir de dades i el calculat s'explica perquè realment la demanda d'ACS és més elevada del que realment està calculat segons el que marca la normativa. De totes maneres, per al posterior dimensionat de la instal·lació solar, s'utilitzaran les dades obtingudes a partir dels càlculs numèrics de l'apartat 4.1.1.

2- Els tancaments tenen coeficients de transmissió menors als que indica el projecte de la planta refredadora del qual s'han extret les dades. Això implica un millor aïllament i que les pèrdues a través dels tancaments siguin menors, explicant així, la diferència durant els mesos en que si que ha demanda de calefacció en que necessitats calculades són més grans que les que s'obtenen a partir dels consums.

Per al a la solució que es proposa, s'agafaran les necessitats obtingudes de fer la mitjana entre les dos vies d'obtenció de les mateixes (calculades i consums) i indicades en l'última columna de la taula 4.10.



**Figura 4.1. Gràfica de les necessitats energètiques.**

### 4.3. Instal·lació solar

#### 4.3.1. Dimensionat del camp de captadors solars i estudi comparatiu

Primer, cal calcular les pèrdues per orientació, es a dir, les pèrdues ocasionades per una desviació de la orientació dels captadors respecte al sud.

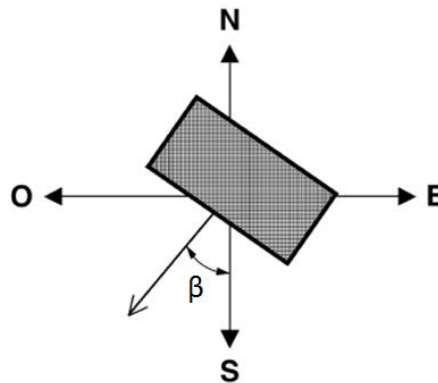


Figura 4.2. Angle d'Azimut d'orientació dels captadors.

En aquest cas:

- Latitud :  $41^\circ$
- Angle Azimut  $\beta$ :  $5^\circ$

Segons el Plec de Condicions Tècniques en Instal·lacions de Baixa Temperatura, les pèrdues per orientació es poden quantificar de la següent manera:

$$\text{Pèrdues (\%)} = 100 \times [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2] \quad \text{per} \quad \beta \leq 15^\circ \quad [\text{Equació 4.5.}]$$

Per una  $\beta = 5^\circ$  i  $\beta_{\text{opt}} = 0^\circ$  tenim un 0,3 % de pèrdues. Es poden considerar despreciables.

Cal que la instal·lació solar estigui optimitzada per funcionar al màxim de les seves possibilitats durant els mesos d'hivern.

Per tant segons el la ITC- 10.1.3.1 del RITE [Ref. 2] la **inclinació dels captadors** solars és:

Latitud del lloc +  $10^\circ$  (màxim)

En aquest cas els captadors estaran a una inclinació de  $50^\circ$ , és a dir,  $41^\circ$  (latitud de Lleida) +  $9^\circ = 50^\circ$ , sense superar els  $10^\circ$  establerts com a màxim.

#### A. Radiació solar global sobre superfícies inclinades a 50 ° ( directa + difusa )

S'ha escollit l'estació de mesura de Lleida, que és la més propera a les instal·lacions de la residència.

Mes	Radiació solar (MJ/m <sup>2</sup> dia)	Radiació solar (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Gener	8,22	2,28
Febrer	12,42	3,45
Març	16,93	4,70
Abril	19,61	5,45
Maig	20,54	5,71
Juny	20,64	5,73
Juliol	20,70	5,75
Agost	20,33	5,65
Setembre	18,45	5,13
Octubre	14,39	4,00
Novembre	9,91	2,75
Desembre	6,75	1,88

Taula 4.11. Radiació solar sobre superfícies a 50° a Lleida. Font: Atles Solar de Catalunya (any 2000). [Ref. 3]

Cal tenir en compte que la radiació solar que hi ha a les taules de l'Atles Solar corresponen a mesuraments fets amb aparells de precisió. La instal·lació solar no pot aprofitar el 100% d'aquesta radiació, ja que el vidre de la coberta del captador pla té un índex de reflexió de la radiació en funció de l'angle d'incidència.

Aquest efecte fa que la radiació solar de primeres i darreres hores del dia sigui reflectida quasi totalment. La majoria dels processos de càlcul han establert en un 5% el valor mitjà de radiació no aprofitable pels captadors solars a causa d'aquest efecte

Mes	Radiació solar (kWh/m <sup>2</sup> dia)	Radiació solar efectiva Reducció 5% (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Gener	2,28	2,17
Febrer	3,45	3,28
Març	4,70	4,47
Abril	5,45	5,17
Maig	5,71	5,42
Juny	5,73	5,45
Juliol	5,75	5,46
Agost	5,65	5,36
Setembre	5,13	4,87
Octubre	4,00	3,80
Novembre	2,75	2,62
Desembre	1,88	1,78

Taula 4.12. Pèrdues per reflexió.

## B. Càlcul de la intensitat mitjana de radiació:

Per a la realització d'aquest càlcul, caldran les hores llum solar a Catalunya (Institut Català de Meteorologia) i la radiació efectiva.

Amb aquestes i tal com es mostra en la taula següent, es calcula la intensitat mitjana de radiació en  $W/m^2$  dia aplicant la fórmula que segueix:

$$I_g = [((kWh/m^2 \text{ dia}) * 1000) / \text{hores de Sol}] \quad [\text{Equació 4.6.}]$$

Mes	Radiació efectiva ( $kWh/m^2$ dia)	Hores de Sol	Intensitat mitjana de radiació ( $I_g$ ) ( $W/m^2$ )
Gener	2,17	7,5	289,22
Febrer	3,28	8	409,69
Març	4,47	9	496,41
Abril	5,17	9,5	544,73
Maig	5,42	9,5	570,56
Juny	5,45	9,5	573,34
Juliol	5,46	9,5	575,00
Agost	5,36	9,5	564,73
Setembre	4,87	9	540,98
Octubre	3,80	9	421,93
Novembre	2,62	8	326,89
Desembre	1,78	7	254,47

Taula 4.13. Intensitat mitjana de radiació a partir de la radiació efectiva i les hores de sol.

## C. Càlcul dels increments de temperatura

Aquests increments de temperatura serviran després per calcular el rendiment del col·lector solar.

Mes	T mitjana mensual diürna ( $^{\circ}C$ )	T mitjana captador ( $^{\circ}C$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}C$ )
Gener	7	35	28
Febrer	10	35	25
Març	14	35	21
Abril	15	45	30
Maig	21	45	24
Juny	24	45	21
Juliol	27	45	18
Agost	27	45	18
Setembre	23	45	22
Octubre	18	35	17
Novembre	11	35	24
Desembre	8	35	27

Taula 4.14. Increments de temperatura.



On:

- T mitjana mensual = Temperatura mitjana diürna a la ciutat de Lleida.
- T mitjana captador = Temperatura mitja del fluid de treball a l'absorbidor (dividit en dos: 35°C a l'hivern i 45°C a l'estiu)

D. Estudi per a diferents models i tipus de captadors.

A continuació s'estudiarà el rendiment de diferents models de col·lectors, es calcularà la superfície captadora que es requereix per cobrir les necessitats d'ACS de la instal·lació i també es farà un petit estudi econòmic de cada opció per poder determinar quin és el tipus i el model de captador que s'escull.

La contribució solar mínima segons el CTE [Ref. 4] és d'un 40% de la demanda total d'energia destinada a la Producció d'ACS, tal com es mostra en la taula següent:

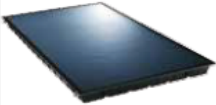
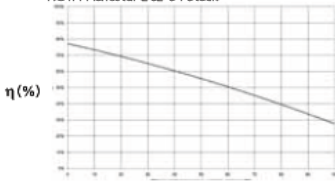
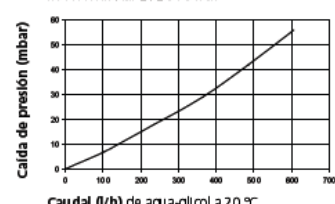
Demanda total de ACS del edifici (l/d)	Zona climàtica				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30	30	40	50	60
5.000 – 10.000	30	40	50	60	70
> 10.000	30	50	60	70	70

Taula 4.15. Contribució solar mínima per a ACS en %.

Lleida es troba en la zona climàtica III, tenint una demanda de 4.436 litres per dia aigua calenta a 60°C.

El cas de càlcul per al primer model de captador es realitzarà amb deteniment, explicant bé el mètode emprat. S'ha seguit l'annex de càlcul de document "Energia Solar Tèrmica. Quadern Pràctic 3" de l'ICAEN [Ref. 5]. Per a la resta de models de col·lectors el mètode utilitzat serà el mateix.

## D.1. Estudi model de captador 1

Captadores solares ROTH																															
	Descripción	Referencia	PVP €/ud																												
<b>CAPTADOR PLANO DE ALTO RENDIMIENTO ROTH HELIOSTAR 252 S4 STECK</b>																															
 <div style="border: 1px solid red; padding: 2px; color: red; font-weight: bold;">10 años de garantía</div>	<b>Captador plano Roth Heliostar 252 S4 Steck</b>  Carcasa de policarbonato de alta calidad con marco de aluminio anodizado, resistente a las inclemencias meteorológicas y a los cambios de temperatura. Absorbedor de aluminio con recubrimiento altamente selectivo al vacío de 2,27 m² de superficie efectiva y lámina de vidrio de seguridad. Superficie: 2,52 m² bruta, 2,29 m² apertura, 2,27 m² absorbadora. <b>Con 4 conexiones laterales conexión rápida Roth.</b> Para su instalación tanto en vertical como en horizontal sobre tejado sin inclinación adicional y para su instalación únicamente en vertical sobre tejado con inclinación adicional, sobre cubierta plana e integrados en tejado. Para instalaciones de más de 5 captadores por bloque es necesario el uso del Compensador de dilataciones Heliostar Steck (ver pag. 20).  Medidas: 2100 x 1200 x 109 mm. Peso 36 kg <b>NPS 231 10</b> Nº KeyMark – 011-75819F 10 unidades por palé.																														
	Superficie absorbadora: 2,27 m²	<b>Captador plano Roth Heliostar 252 S4 Steck</b>	1115008697	<b>639,00</b>																											
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><b>ROTH Heliostar 252 S4 Steck</b> <b>Especificaciones técnicas</b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Medidas</td> <td>2100 x 1200 x 109 mm</td> </tr> <tr> <td>Superficie</td> <td>2,52 m² bruta 2,29 m² apertura 2,27 m² absorbadora</td> </tr> <tr> <td>Conexiones</td> <td>4, conexión rápida roth</td> </tr> <tr> <td>Rendimiento</td> <td><math>\eta_p = 77,10\%</math> <math>k1 = 3,68 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math> <math>k2 = 0,0127 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}</math></td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td>36 kg</td> </tr> <tr> <td>Presión de trabajo (Máx)</td> <td>10 bar</td> </tr> <tr> <td>Temperatura de reposo</td> <td>208 °C (bajo la norma EN 12975-2)</td> </tr> <tr> <td>Capacidad</td> <td>1,16 litros</td> </tr> <tr> <td>Carcasa</td> <td>Policarbonato de alta calidad, resistente a las inclemencias meteorológicas y a los cambios de temperatura. Panel aislante posterior 50 mm.</td> </tr> <tr> <td>Cubierta</td> <td>Vidrio solar de seguridad, 3,2 mm, bajo en hierro. Transmisión <math>\tau = 91,6\%</math></td> </tr> <tr> <td>Absorbedor</td> <td>Aluminio con tratamiento altamente selectivo al vacío. Mirotherm.</td> </tr> <tr> <td>Absorción</td> <td><math>\alpha = 95\%</math></td> </tr> <tr> <td>Emisión</td> <td><math>\epsilon = 5\%</math></td> </tr> <tr> <td>Caloportante</td> <td>Aditivo para captador solar plano</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 48%;"> <p>Curva de rendimiento (<math>\eta</math>) del captador plano ROTH Heliostar 252 S4 Steck</p>  <p>Diagrama de pérdida de carga el captador plano ROTH Heliostar 252 S4 Steck</p>  </div> </div>				Medidas	2100 x 1200 x 109 mm	Superficie	2,52 m² bruta 2,29 m² apertura 2,27 m² absorbadora	Conexiones	4, conexión rápida roth	Rendimiento	$\eta_p = 77,10\%$ $k1 = 3,68 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ $k2 = 0,0127 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	Peso	36 kg	Presión de trabajo (Máx)	10 bar	Temperatura de reposo	208 °C (bajo la norma EN 12975-2)	Capacidad	1,16 litros	Carcasa	Policarbonato de alta calidad, resistente a las inclemencias meteorológicas y a los cambios de temperatura. Panel aislante posterior 50 mm.	Cubierta	Vidrio solar de seguridad, 3,2 mm, bajo en hierro. Transmisión $\tau = 91,6\%$	Absorbedor	Aluminio con tratamiento altamente selectivo al vacío. Mirotherm.	Absorción	$\alpha = 95\%$	Emisión	$\epsilon = 5\%$	Caloportante	Aditivo para captador solar plano
Medidas	2100 x 1200 x 109 mm																														
Superficie	2,52 m² bruta 2,29 m² apertura 2,27 m² absorbadora																														
Conexiones	4, conexión rápida roth																														
Rendimiento	$\eta_p = 77,10\%$ $k1 = 3,68 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ $k2 = 0,0127 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$																														
Peso	36 kg																														
Presión de trabajo (Máx)	10 bar																														
Temperatura de reposo	208 °C (bajo la norma EN 12975-2)																														
Capacidad	1,16 litros																														
Carcasa	Policarbonato de alta calidad, resistente a las inclemencias meteorológicas y a los cambios de temperatura. Panel aislante posterior 50 mm.																														
Cubierta	Vidrio solar de seguridad, 3,2 mm, bajo en hierro. Transmisión $\tau = 91,6\%$																														
Absorbedor	Aluminio con tratamiento altamente selectivo al vacío. Mirotherm.																														
Absorción	$\alpha = 95\%$																														
Emisión	$\epsilon = 5\%$																														
Caloportante	Aditivo para captador solar plano																														










Figura 4.3. Fitxa tècnica del model de captador ROTH Eliostar 252 S4 Steck.

Per a la realització dels càlculs caldran les dades següents:

Model de captador: ROTH Eliostar 252 S4 Steck

Tipus: Pla

Paràmetres de càlcul:

- $\eta$  òptic (%): 77,1
- $k1$  ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ): 3,68
- $k2$  ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^2$ ): 0,012

El rendiment d'un col·lector solar ve donat per l'equació de segon grau que es mostra a continuació. Aquesta equació correspon a un model matemàtic aplicat amb bastanta freqüència, recollit en la norma UNE-EN-12975 [Ref. 6]., que descriu la corba característica del rendiment d'un captador:

$$\eta = \eta_0 - (K_1 * \Delta T / I_g) - (K_2 * \Delta T^2 / I_g) \quad [Equació 4.7.]$$

On:

- $\eta$  : Rendiment del col·lector solar.
- $\eta_0$  : Rendiment òptic.
- $K_1$  i  $K_2$  : Coeficients de pèrdua de calor.
- $\Delta T$  : Diferència de temperatura entre l'ambient i el col·lector (apartat 1.3).
- $I_g$  : Intensitat mitjana de la radiació (apartat 1.2).

Rendiment mensual del col·lector:

Mes	$I_g$ (W/m <sup>2</sup> )	$\Delta T$ (°C)	$\eta$
Gener	289,22	28,0	0,38
Febrer	409,69	25,0	0,53
Març	496,41	21,0	0,60
Abril	544,73	30,0	0,55
Maig	570,56	24,0	0,60
Juny	573,34	21,0	0,63
Juliol	575,00	18,0	0,65
Agost	564,73	18,0	0,65
Setembre	540,98	22,0	0,61
Octubre	421,93	17,0	0,61
Novembre	326,89	24,0	0,48
Desembre	254,47	27,0	0,34
			Mitjana = 0,553

Taula 4.16. Rendiment del col·lector.

Segons l'annex de càlcul que es segueix per calcular la superfície captadora corresponent al quadern pràctic número 3 (Energia Solar Tèrmica) de l'ICAEN [Ref. 5], s'agafa el rendiment trobat en la taula anterior per seguir amb els càlculs.

La radiació absorbida pel captador solar:

$$\text{Radiació solar aprofitada} = \text{Radiació absorbida} * \text{Rendiment del captador} \quad [\text{Equació 4.8.}]$$

Mes	Radiació efectiva (kWh/m <sup>2</sup> dia)	$\eta$	Radiació solar absorbida (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Gener	2,17	0,38	0,82
Febrer	3,28	0,53	1,73
Març	4,47	0,60	2,70
Abril	5,17	0,55	2,83
Maig	5,42	0,60	3,27
Juny	5,45	0,63	3,41
Juliol	5,46	0,65	3,54
Agost	5,36	0,65	3,47
Setembre	4,87	0,61	2,97
Octubre	3,80	0,61	2,33
Novembre	2,62	0,48	1,25
Desembre	1,78	0,34	0,61

Taula 4.17. Aplicació del rendiment per trobar la radiació solar aprofitada.

Energia que aprofita el sistema:

Del total de radiació que pot absorbir el captador l'usuari només n'aprofita una part en forma d'ACS, la resta es perd en forma de calor residual a través de les parets de l'acumulador, les canonades, les vàlvules i la resta d'accessoris del circuit.

És molt complicat avaluar aquestes pèrdues amb exactitud perquè depenen de la temperatura del fluid, de l'ACS en el secundari i del fluid termòfor en el primari, com també de la temperatura ambient, la qualitat i el gruix dels aïllaments i la seva col·locació, etc. Empíricament, s'ha establert un valor de pèrdues generals del sistema que es correspon força amb la realitat de les instal·lacions en funcionament i que és del 10 al 15% de l'energia obtinguda al captador.

Aquest valor es pot modificar fins al 8-10% en instal·lacions on el consum està concentrat en hores de dia (instal·lacions esportives, etc.), com també en aplicacions estacionals no hivernals. També es pot ampliar fins al 20% en instal·lacions amb un desfasament horari elevat entre la producció i el consum (cases de caps de setmana, fàbriques o centres docents on no hi ha consum en tot el cap de setmana).

En el cas d'estudi es considera que aquestes pèrdues són d'un 15%.

Mes	E solar absorbida (kWh/m <sup>2</sup> dia)	E solar que aprofita el sistema (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Gener	0,82	0,70
Febrer	1,73	1,47
Març	2,70	2,29
Abril	2,83	2,41
Maig	3,27	2,78
Juny	3,41	2,90
Juliol	3,54	3,01
Agost	3,47	2,95
Setembre	2,97	2,52
Octubre	2,33	1,98
Novembre	1,25	1,06
Desembre	0,61	0,52

Taula 4.18. Energia solar que aprofita el sistema.

Càlcul de la superfície de captació:

S'obté l'energia que es produirà per cada mes per m<sup>2</sup> i es tantegen valors de superfície de tal manera que en cap meses superi el 100% de cobriment de demanda per tal de no sobredimensionar el sistema.

Mes	Energia sistema (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Energia solar obtinguda (kWh/mes)	Demanda ACS (kWh/mes)	% fracció solar mensual (ACS)
Gener	21,74	1.478,17	8.484,69	17%
Febrer	41,11	2.795,74	7.374,40	38%
Març	71,11	4.835,44	8.004,42	60%
Abril	72,23	4.911,49	7.436,37	66%
Maig	86,18	5.860,14	7.203,98	81%
Juny	87,01	5.916,49	6.661,75	89%
Juliol	93,36	6.348,80	6.403,54	99%
Agost	91,38	6.213,91	6.563,63	95%
Setembre	75,73	5.149,76	6.661,75	77%
Octubre	61,44	4.177,97	7.364,07	57%
Novembre	31,91	2.169,59	7.746,22	28%
Desembre	16,15	1.098,42	8.484,69	13%
		Total=50.955,93	Total=88.389,49	Aportació solar anual=57,65%

Taula 4.19. Aportació solar a la producció d'ACS.

Arribat a aquest punt, s'observa que cal una superfície de  $68 \text{ m}^2$  per a no sobre dimensionar la instal·lació, és a dir, per no produir més energia de la que es consumirà. A més, l'energia solar obtinguda cobreix el 57,65% de la demanda anual, complint així amb les exigències del CTE que demana un mínim d'un 40%.

Nombre de captadors i cost:

Superfície captadora:  $68 \text{ m}^2$   
 Superfície absorbidora:  $2,27 \text{ m}^2$   
 Cost unitari de cada captador :  $629 \text{ €} + 10\% \text{ (tarifa de preus del 2016)} = 692 \text{ €}$

Nombre de captadors = superfície captadora/superfície absorbidora =  $68/2,27 = 30$  captadors

Cost captadors = nombre de captadors \* cost unitari =  $30 * 692 = 20.760 \text{ €}$

## D.2. Estudi model de captador 2

### Vitosol 100-F (continuación)

#### 2.2 Datos técnicos

Vitosol 100-F se puede adquirir con 2 recubrimientos distintos del absorbedor. El modelo SV1B/SH1B tiene un recubrimiento especial del absorbedor que permite el uso de los colectores en zonas costeras.

#### Indicación

Viessmann no asumirá ninguna responsabilidad si se utiliza el modelo SV1A/SH1A en estas zonas.

Distancia con respecto a la costa:

- Hasta 100 m:  
utilice solamente el modelo SV1B/SH1B
- Entre 100 y 1000 m:  
recomendamos utilizar el modelo SV1B/SH1B

Modelo		SV1A	SH1A	SV1B	SH1B
Superficie bruta (dato necesario a la hora de solicitar sub- venciones)	$\text{m}^2$				2,513
Superficie de absorción	$\text{m}^2$				2,324
Superficie de apertura	$\text{m}^2$		2,33		2,327
Posición de montaje (consultar la siguiente Fig.)		(A), (C), (D)	(B), (C), (D), (E)	(A), (C), (D)	(B), (C), (D), (E)
Distancia entre colectores	mm				21
Dimensiones					
Anchura:	mm	1056	2380	1056	2380
Altura:	mm	2380	1056	2380	1056
Profundidad	mm	72	72	72	72
- Rendimiento óptico (área de apertura):	%		75,8		75,3
- Coeficiente de pérdida de calor $k_1$ :	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		4,13		4,14
- Coeficiente de pérdida de calor $k_2$ :	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		0,0108		0,0114
- Rendimiento óptico (área absorbedor):	%		76,0		75,4
- Coeficiente de pérdida de calor $k_1$ :	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		4,14		4,15
- Coeficiente de pérdida de calor $k_2$ :	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		0,0108		0,0114
Capacidad térmica	$\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		4,7		4,5
Peso	kg		41,5		43,9
Volumen de fluido (medio portador de calor)	litros	1,48	2,33	1,67	2,33
Presión de servicio adm.: (consultar el capítulo "Depósito de expan- sión solar")	bar				6
Temperatura máx. de inactividad	$^{\circ}\text{C}$		200		196
Capacidad de producción de vapor					
- Posición de montaje favorable	$\text{W}/\text{m}^2$				60
- Posición de montaje desfavorable	$\text{W}/\text{m}^2$				100
Conexión	$\varnothing$ en mm				22

Figura 4.4. Fitxa tècnica del model de captador Vitosol 100-F SV1A.

Com que la instal·lació és a Lleida, per tant, lluny de la costa s'utilitzaran els models A, que s'adequen a les necessitats requerides.

Per a la realització dels càlculs caldran les dades següents:

Model de captador: Vitosol 100-F SV1A

Tipus: Pla

Paràmetres de càlcul:

- $\eta$  òptic (%): 76,0
- $k_1$  ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ): 4,14
- $k_2$  ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^2$ ): 0,0108

Rendiment mensual del col·lector:

Mes	$I_g$ ( $\text{W/m}^2$ )	$\Delta T$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\eta$
Gener	289,22	28	0,33
Febrer	409,69	25	0,49
Març	496,41	21	0,58
Abril	544,73	30	0,51
Maig	570,56	24	0,57
Juny	573,34	21	0,60
Juliol	575,00	18	0,62
Agost	564,73	18	0,62
Setembre	540,98	22	0,58
Octubre	421,93	17	0,59
Novembre	326,89	24	0,44
Desembre	254,47	27	0,29
			Mitjana = 0,519

Taula 4.20. Rendiment del col·lector.

La radiació absorbida pel captador solar:

Mes	Radiació efectiva (kWh/m <sup>2</sup> dia)	$\eta$	Radiació solar absorbida (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Gener	2,17	0,33	0,72
Febrer	3,28	0,49	1,61
Març	4,47	0,58	2,57
Abril	5,17	0,51	2,66
Maig	5,42	0,57	3,12
Juny	5,45	0,60	3,27
Juliol	5,46	0,62	3,41
Agost	5,36	0,62	3,34
Setembre	4,87	0,58	2,83
Octubre	3,80	0,59	2,22
Novembre	2,62	0,44	1,14
Desembre	1,78	0,29	0,52

Taula 4.21. Aplicació del rendiment per trobar la radiació solar aprofitada.

Energia que aprofita el sistema:

En el cas d'estudi es considera que aquestes pèrdues són d'un 15%.

Mes	E solar absorbida (kWh/m <sup>2</sup> dia)	E solar que aprofita el sistema (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Gener	0,72	0,61
Febrer	1,61	1,37
Març	2,57	2,18
Abril	2,66	2,26
Maig	3,12	2,65
Juny	3,27	2,78
Juliol	3,41	2,90
Agost	3,34	2,84
Setembre	2,83	2,41
Octubre	2,22	1,89
Novembre	1,14	0,97
Desembre	0,52	0,44

Taula 4.22. Energia solar que aprofita el sistema.



Càlcul de la superfície de captació:

Mes	E sistema (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Energia solar obtinguda (kWh/mes)	Demanda ACS (kWh/mes)	% fracció solar mensual (ACS)
Gener	18,86	1.338,92	8.484,69	15,8%
Febrer	38,29	2.718,75	7.374,40	36,9%
Març	67,72	4.808,29	8.004,42	60,1%
Abril	67,85	4.817,17	7.436,37	64,8%
Maig	82,12	5.830,37	7.203,98	80,9%
Juny	83,34	5.917,30	6.661,75	88,8%
Juliol	89,86	6.380,25	6.403,54	99,6%
Agost	87,91	6.241,43	6.563,63	95,1%
Setembre	72,25	5.130,08	6.661,75	77,0%
Octubre	58,62	4.161,72	7.364,07	56,5%
Novembre	29,14	2.069,18	7.746,22	26,7%
Desembre	13,60	965,71	8.484,69	11,4%
		Total=50.379,16	Total=88.389,49	Aportació solar anual=57,00%

Taula 4.23. Aportació solar a la producció d'ACS.

Arribat a aquest punt, s'observa que cal una superfície de 71 m<sup>2</sup> per a no sobre dimensionar la instal·lació, es a dir, per no produir més energia de la que es consumirà. A més, l'energia solar obtinguda cobreix el 57% de la demanda anual, complint així amb les exigències del CTE.

Nombre de captadors i cost:

Superfície captadora: 71 m<sup>2</sup>  
 Superfície absorbidora: 2,324 m<sup>2</sup>  
 Cost unitari de cada captador : 647 € + 3% (tarifa de preus de 2016) = 667€

Nombre de captadors = superfície captadora/superfície absorbidora = 71/2,324 = 31 captadors

Cost captadors = nombre de captadors \* cost unitari = 31 \* 667 = 20.677€

## D.3. Estudi model de captador 3

**Vitosol 200-T, modelo SP2** (continuación)**Estado de suministro**

Embalados por separado:

- Tubos de vacío, 10 unidades por bulto.
- Caja de conexiones con carriles de montaje.

Viessmann ofrece sistemas de energía solar completos con Vitosol 200-T (conjuntos solares) para la producción de A.C.S. y/o el apoyo de la calefacción (consultar la Lista de precios de conjuntos solares).

**5.2 Datos técnicos**

Modelo SP2		2 m <sup>2</sup>	3 m <sup>2</sup>
Número de tubos		20	30
Superficie bruta (dato necesario a la hora de solicitar subvenciones)	m <sup>2</sup>	2,88	4,34
Superficie de absorción	m <sup>2</sup>	2,00	3,02
Superficie de apertura	m <sup>2</sup>	2,15	3,22
Posición de montaje (consultar la siguiente Fig.)		(A), (B), (C), (D), (E), (F), (G)	
Distancia entre colectores	mm	102	102
Dimensiones			
Anchura a	mm	1420	2129
Altura b	mm	2040	2040
Profundidad c	mm	145	145
Los valores siguientes se refieren a la superficie de absorción:			
– Rendimiento óptico	%	76,6	77,7
– Coeficiente de pérdida de calor $k_1$	W/(m <sup>2</sup> · K)	1,42	1,39
– Coeficiente de pérdida de calor $k_2$	W/(m <sup>2</sup> · K <sup>2</sup> )	0,0050	0,0082
Capacidad térmica	kJ/(m <sup>2</sup> · K)	8,4	8,4
Peso	kg	58	87
Volumen de fluido (medio portador de calor)	Litros	1,13	1,65
Presión de servicio adm.:	bar	6	6
Temperatura máx. de inactividad	°C	270	270
Capacidad de producción de vapor	W/m <sup>2</sup>	100	100
Conexión	Ø en mm	22	22

Figura 4.5. Fitxa tècnica del model de captador Vitosol 200-T SP2.

S'estudiarà el captador de 2m<sup>2</sup> de superfície d'absorció.

Per a la realització dels càlculs caldran les dades següents:

Model de captador: Vitosol 200-T SP2

Tipus: Tubs de buit

Paràmetres de càlcul:

- $\eta$  òptic (%): 76,6
- $k_1$  (W/m<sup>2</sup>·K): 1,42
- $k_2$  (W/m<sup>2</sup>·K<sup>2</sup>): 0,0050

Rendiment mensual del col·lector:

Mes	$I_g$ (W/m <sup>2</sup> )	$\Delta T$ (°C)	$\eta$
Gener	289,22	28,0	0,61
Febrer	409,69	25,0	0,67
Març	496,41	21,0	0,70
Abril	544,73	30,0	0,68
Maig	570,56	24,0	0,70
Juny	573,34	21,0	0,71
Juliol	575,00	18,0	0,72
Agost	564,73	18,0	0,72
Setembre	540,98	22,0	0,70
Octubre	421,93	17,0	0,71
Novembre	326,89	24,0	0,65
Desembre	254,47	27,0	0,60
			Mitjana = 0,682

Taula 4.24. Rendiment del col·lector.

La radiació absorbida pel captador solar:

Mes	Radiació efectiva (kWh/m <sup>2</sup> dia)	$\eta$	Radiació solar absorbida (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Gener	2,17	0,61	1,33
Febrer	3,28	0,67	2,20
Març	4,47	0,70	3,13
Abril	5,17	0,68	3,52
Maig	5,42	0,70	3,80
Juny	5,45	0,71	3,87
Juliol	5,46	0,72	3,93
Agost	5,36	0,72	3,85
Setembre	4,87	0,70	3,43
Octubre	3,80	0,71	2,68
Novembre	2,62	0,65	1,71
Desembre	1,78	0,60	1,07

Taula 4.25. Aplicació del rendiment per trobar la radiació solar aprofitada.

Energia que aprofita el sistema:

En el cas d'estudi es considera que aquestes pèrdues són d'un 15%.

Mes	E solar absorbida (kWh/m <sup>2</sup> dia)	E solar que aprofita el sistema (kWh/m <sup>2</sup> dia)
Gener	1,33	1,13
Febrer	2,20	1,87
Març	3,13	2,66
Abril	3,52	2,99
Maig	3,80	3,23
Juny	3,87	3,29
Juliol	3,93	3,34
Agost	3,85	3,27
Setembre	3,43	2,91
Octubre	2,68	2,28
Novembre	1,71	1,45
Desembre	1,07	0,91

Taula 4.26. Energia solar que aprofita el sistema.

Càlcul de la superfície de captació:

Mes	E sistema (kWh/m <sup>2</sup> mes)	Energia solar obtinguda (kWh/mes)	Demanda ACS (kWh/mes)	% fracció solar mensual (ACS)
Gener	35,15	2.144,20	8.484,69	25,3%
Febrer	52,40	3.196,26	7.374,40	43,3%
Març	82,58	5.037,46	8.004,42	62,9%
Abril	89,67	5.469,96	7.436,37	73,6%
Maig	100,15	6.109,29	7.203,98	84,8%
Juny	98,63	6.016,58	6.661,75	90,3%
Juliol	103,45	6.310,61	6.403,54	98,5%
Agost	101,48	6.190,40	6.563,63	94,3%
Setembre	87,38	5.330,00	6.661,75	80,0%
Octubre	70,58	4.305,35	7.364,07	58,5%
Novembre	43,54	2.656,07	7.746,22	34,3%
Desembre	28,21	1.720,75	8.484,69	20,3%
		Total=54.486,93	Total=88.389,49	Aportació solar anual=61,64%

Taula 4.27. Aportació solar a la producció d'ACS.

Arribat a aquest punt, s'observa que cal una superfície de 61 m<sup>2</sup> per a no sobre dimensionar la instal·lació, es a dir, per no produir més energia de la que es consumirà. A més, l'energia solar obtinguda cobreix el 61,64% de la demanda anual, complint així amb les exigències del CTE.

Nombre de captadors i cost:

Superfície captadora:  $61 \text{ m}^2$   
 Superfície absorbidora:  $2,00 \text{ m}^2$   
 Cost unitari de cada captador :  $1819 \text{ €} + 3\% \text{ (tarifa de preus de 2016)} = 1874 \text{ €}$

Nombre de captadors = superfície captadora/superfície absorbidora =  $61/2 = 31$  captadors

Cost captadors = nombre de captadors \* cost unitari =  $31 * 1874 = 58094 \text{ €}$

E. Justificació de l'alternativa escollida.

Model / Tipus	Àrea de captació ( $\text{m}^2$ )	Nombre de captadors	% cobriment demanda d'ACS	Cost (€)
ROTH pla	68	30	57,65 %	20.760
VITOSOL pla	71	31	57 %	20.677
VITOSOL tubs de buit	61	31	61,64 %	58094

Taula 4.28. Resum de les alternatives de captadors estudiades.

Totes les alternatives compleixen amb les exigències del CTE.

Les àrees de captació varien en funció del model de col·lector solar. L'àrea més petita i que a la vegada dona major rendiment és la de l'alternativa dels tubs de buit, però per contra té un cost de més de 2,5 vegades les altres alternatives. Hi ha molta diferència de cost en aquesta alternativa, per el percentatge d'energia que aporta de més per ACS (61,64%) i veient-ho en el còmput total de la instal·lació, no compensa.

Pel que fa a les dues opcions de captadors plans, les xifres globals són similars i per tant, ja que l'alternativa és una mica més econòmica i el captador no deixa de tenir bones prestacions, s'escolleix el model de captador Roth 252 S4 Steck. La diferència de preu amb l'altra alternativa de captador pla és mínima. A més del model Vitosol en calen 31 i de l'alternativa escollida 30, una xifra de col·lectors millor a l'hora de fer una distribució del camp de captació que sigui el més equilibrada hidràulicament parlant.

### 4.3.2. Dimensionat dels elements hidràulics de la instal·lació solar

#### A. Elecció del volum d'acumulació

L'acumulació de l'aigua escalfada pels captadors solars permet emmagatzemar energia durant els períodes en què la captació solar és elevada (per exemple, durant les hores centrals del dia), per al seu consum quan es produeixen pics de demanda (per exemple, al final de la tarda o a primera hora del matí).

A més, l'acumulació d'aigua permet reduir la temperatura mitjana de funcionament dels captadors solars. El rendiment energètic d'un captador solar disminueix quan augmenta la seva temperatura de funcionament. En conseqüència, un volum d'acumulació suficient permetrà augmentar la producció energètica anual de la instal·lació solar.

L'àrea total dels col·lectors tindrà un valor tal que es compleixi la condició:

$$1,25 \leq 100 \cdot A/M \leq 2 \quad \text{[Equació 4.8.]}$$

On:

- A és l'àrea de captació ( $72\text{m}^2$ )
- M és el consum mitjà diari durant els mesos d'estiu (4.436 litres)

S'obté un valor de 1,62 i per tant és compleix la condició.

A partir de la superfície de captadors a muntar en una instal·lació podem escollir el volum òptim d'acumulació. Si no hi ha una relació adient trobarem temperatures d'acumulació no desitjades (massa baixes per a acumuladors grans i massa elevades per a acumuladors petits).

El consum d'ACS diari és de 4.436 litres. Aquest consum es considera constant al llarg de l'any ja que l'afluència de públic és més o menys regular.

Segons el RITE en la seva ITC 10.1.3.2 el volum d'acumulació en instal·lacions de consum constant es té que:

$$0.8 M \leq V \leq M \quad \text{[Equació 4.9.]}$$

On:

- M = Consum mitjà diari en els mesos d'estiu.
- V = Volum del dipòsit d'acumulació.

Per tant el volum que es necessitarà estarà comprès entre  $0,8 \cdot 4436 = 3549$  i 4436 i s'optarà per un dipòsit de 4000 litres i complint amb la norma.

## B. Distribució dels col·lectors solars:

Completar explicant distribució i esquema 5 files de 6 captadors o 6 files de 5 captadors.

La separació entre fila i fila de col·lectors serà la següent:

$$D = k \cdot h$$

[Equació 4.10.]

On:

- H = altura de l'obstacle de davant.
- K = coeficient adimensional. Segons el RITE trobem els valors de la taula:
- 

Inclinación (°)	20	25	30	35	40	45	50	55
Coeficiente K	1,532	1,638	1,732	1,813	1,879	1,932	1,970	1,992

Taula 4.29. Coeficient k en funció de la inclinació del captador.

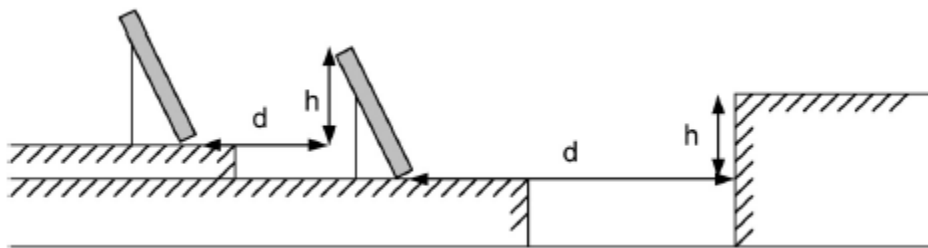


Figura 4.6. Terminologia de distàncies entre files de captadors.

En cas d'estudi, tenint una inclinació dels captadors de 50° i una h igual a la projecció vertical dels captadors, la separació en tres files serà:

$$D = 1,970 \cdot (2,1 \cdot \sin 50) = 3,17 \text{ metres}$$

A partir d'aquest número i fent la projecció vertical del captador es desprèn que per cada fila es requerirà de 4,55 metres de distància. Per tant, donats l'espai del que es disposaran a la coberta es disposaran els captadors en 5 files de captadors.

Donat l'alt risc de gelades a Lleida durant l'època d'hivern, es determina emprar circuit tancat, és a dir, hi ha un intercanviador de calor, que pot situar-se en l'interior del acumulador o a l'exterior, i que separa el circuit primari, que passa per els col·lectors, del circuit secundari de consum. Per això, al circuit primari, es poden utilitzar anticongelants, es redueix la pressió i es minimitza el risc de corrosió. D'altra banda, augmenta la complexitat de la instal·lació, augmenta el cost i es disminueix el rendiment a causa de les pèrdues en l'intercanvi de calor.

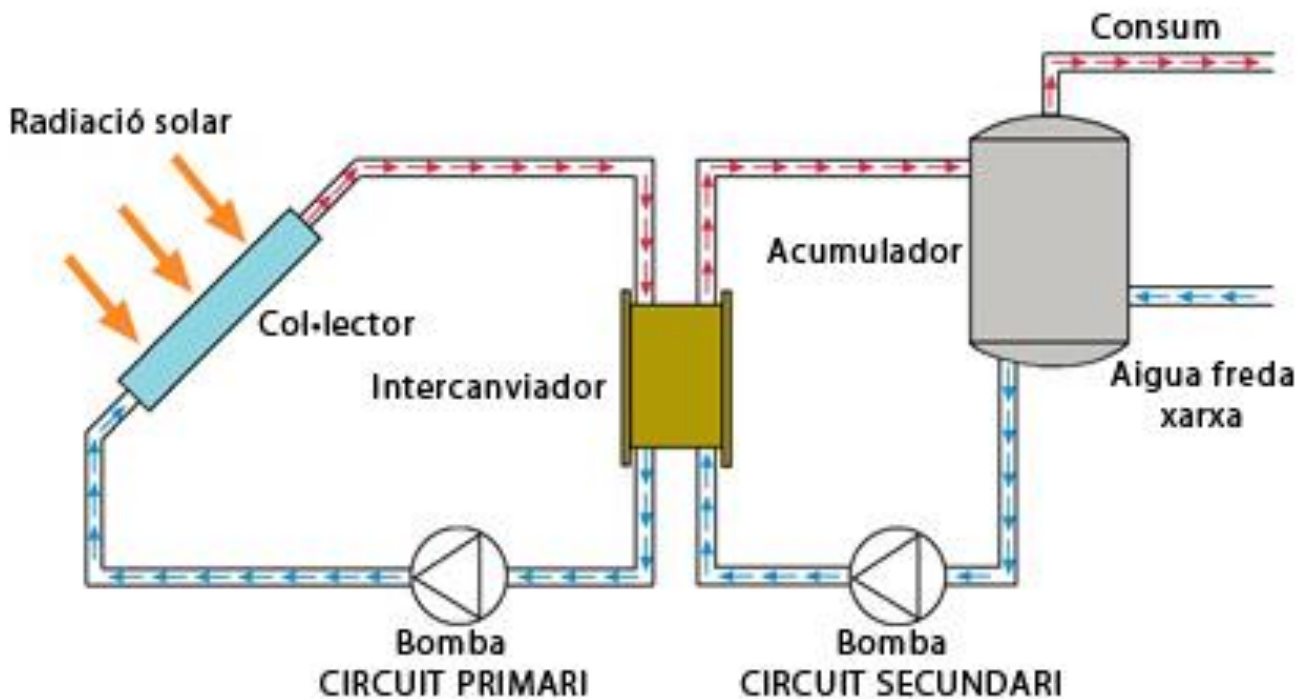


Figura 4.7. Esquema de funcionament d'una instal·lació solar tèrmica de circuit tancat.

La col·locació del camp de col·lectors ha d'assegurar que el recorregut hidràulic sigui el mateix per a tots els col·lectors, si no és així, els salts tèrmics dels col·lectors serien diferents dels uns als altres, reduint el rendiment global de la instal·lació. Per tal de garantir l'equilibri hidràulic és necessari disposar les connexions dels col·lectors entre si de manera que es faci l'anomenat **retorn invertit**.

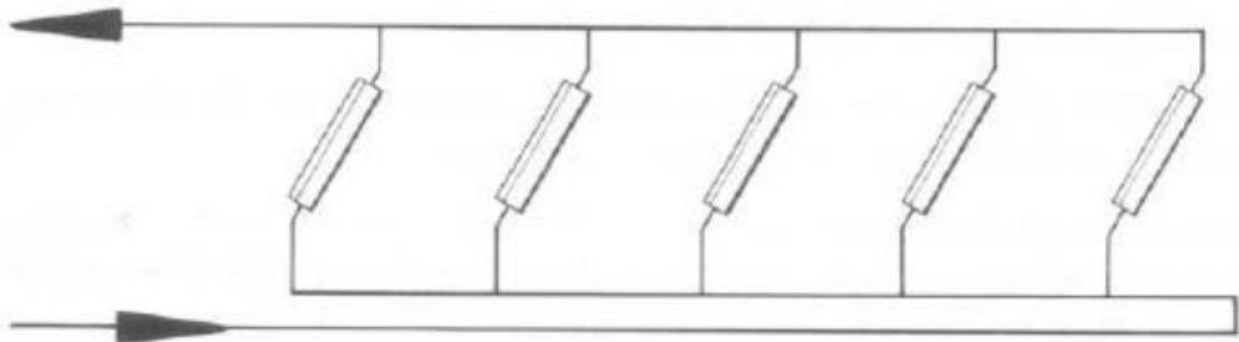


Figura 4.8. Esquema de retorn invertit.



### C. Diàmetres dels tubs i pèrdues de càrrega:

Tots els components de la instal·lació es troben units mitjançant les canonades, que són l'element lineal buit, obert pels seus extrems, que realitza el transport dels fluids.

Sempre que es dissenyi un sistema de captació solar, en el qual el fluid caloportador és la pròpia aigua de consum o aigua glicorada, serà obligatori utilitzar coure o acer inoxidable en el circuit primari, admetent també la possibilitat d'emprar canonades de material plàstic acreditat apte per a l'aplicació.

El material utilitzat per els tubs del circuit primari és el polietilè d'alta densitat. Es tria aquest material per la seu baix coeficient de transmissió tèrmica i compatibilitat amb els metalls, evitant la corrosió galvànica. Es troba sota la norma UNE 53-131 [Ref. 7].

El diàmetre es calcula en funció del cabal, la velocitat del fluid i la pèrdua de càrrega per metre lineal de tub.

- Pèrdua de càrrega  $\leq 40$  mmcda/m
- Velocitat  $\leq 1,5$  m/s (poc sorollos)
- Cabal total del primari:

1,4 l/s per cada 100 m<sup>2</sup> de captació (el RITE recomana cabals de 1,2 a 1,6 l/s per cada 100 m<sup>2</sup>).

Per tant:

Cabal total primari =  $(68 \text{ m}^2 / 100 \text{ m}^2) \cdot 1,4 \text{ l/s} \cdot 3600 \text{ s} = 3427,2 \text{ l/h} = 57,12 \text{ l/min}$

- Cabal per placa =  $(\text{Cabal total primari} / \text{Superfície total}) \cdot \text{Superfície d'un captador}$
- Cabal per placa =  $(3427,2 \text{ l/h} / 68 \text{ m}^2) \cdot 2,27 \text{ m}^2 = 114,41 \text{ l/h} = 1,906 \text{ l/min}$

El diàmetre adequat d'una canonada es calcula amb expressions matemàtiques complexes que utilitzen paràmetres com el coeficient de fricció del material, el tipus de flux, la viscositat del fluid, etc.

A la practica, es poden obtenir taules o gràfics (àbacs) en que obtenir el valor de la pèrdua de carrega d'una canonada de manera directa. Aquests àbacs ens indiquen la pèrdua de carrega específica, es a dir, els mil·límetres de cda de pèrdua de carrega en un metre lineal de canonada en funció del cabal que hi circula i del diàmetre interior de la canonada.

Per tant, es pot establir el diàmetre de la canonada, perquè la pèrdua de carrega del circuit sigui inferior a 40 mmcda per m lineal de canonada, assolint així, velocitats baixes de circulació del fluid i un nivell baix de sonoritat del circuit.

Utilitzant la taula següent es calculen els diàmetres interiors teòrics pels diferents trams, fixant una velocitat del fluid - caloportador no superior a 1,5m/s i no sobrepassar les pèrdues per m lineal de tub en 40 mmcda Els càlculs es basen a partir del següent àbac per fluids a 60 °C i parets llises.

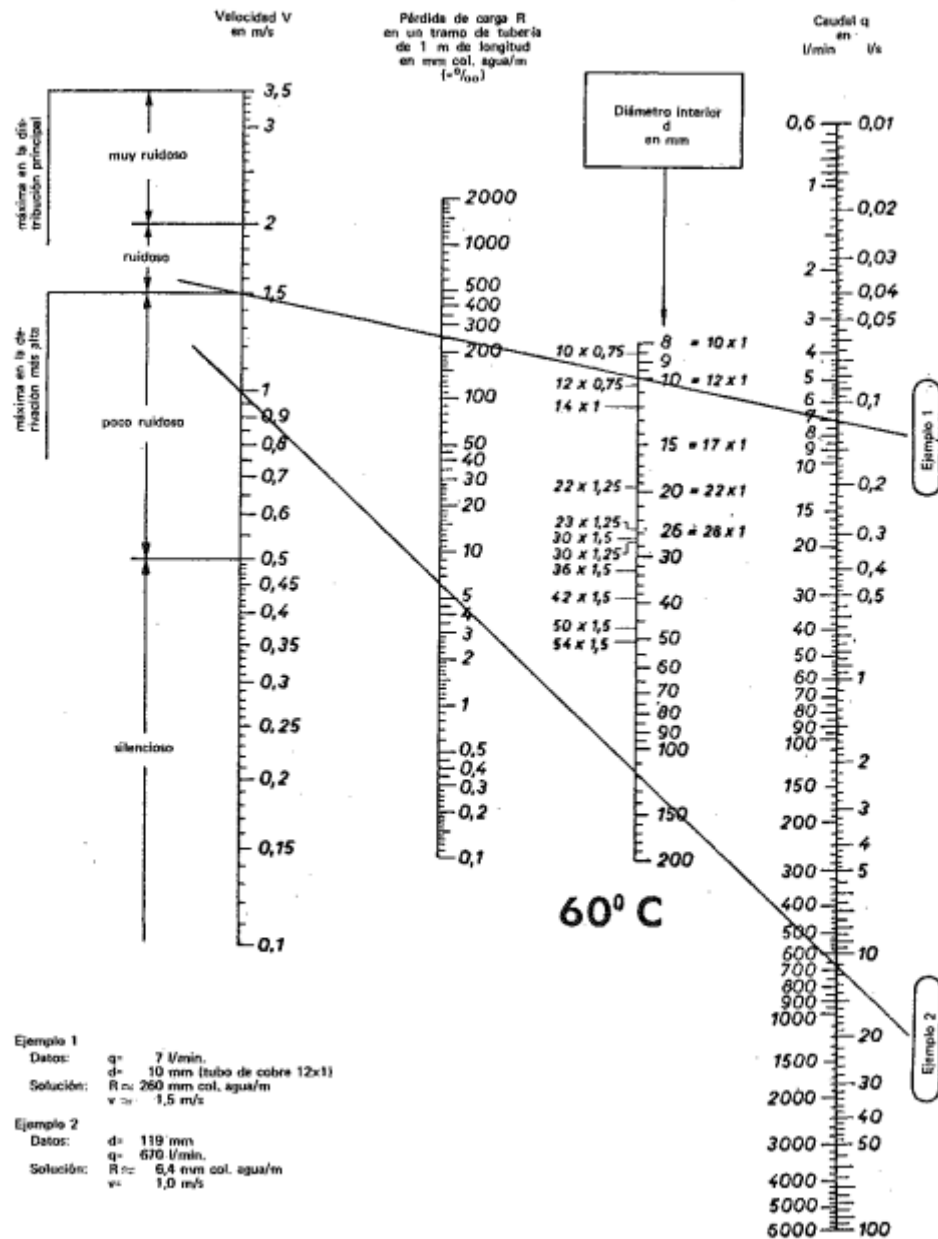


Figura 4.9. Àbac de càlcul per als diàmetres dels tubs.

L'àbac de càlcul és el de 60 °C, ja que aquesta és a la temperatura mitja de treball del circuit primari. Els diàmetres calculats són teòrics, per tant el diàmetre comercial ha de ser el més proper el calculat.

Per al tram d'anada:

Tram	Cabal (l/min)	J (mmcda/m)	Velocitat (m/s)	Diàmetre teòric (mm)
A-B	57,12	26	1	35
B-C	47,6	30	1	31
C-D	38,08	35	1	28
D-E	28,56	35	0,9	26
E-F	19,54	28	0,8	25
F-G	9,52	40	0,75	16

Taula 4.30. Diàmetre teòric anada.

Per al tram de tornada:

Tram	Cabal (l/min)	J (mmcda/m)	Velocitat (m/s)	Diàmetre teòric (mm)
B'-C'	9,52	40	0,75	16
C'-D'	19,54	28	0,8	25
D'-E'	28,56	35	0,9	26
E'-F'	38,08	35	1	28
F'-G'	47,6	30	1	31
G'-A'	57,12	26	1	35

Taula 4.31. Diàmetre teòric tornada.

Cal buscar quins són els diàmetres comercials que s'ajusten més al teòrics anteriorment trobats.

S'utilitzaran tubs de polietilè d'alta densitat PE-100.

Ø Ext. mm.	Espesor Pared mm.
20	2,0
25	2,3
32	3,0
40	3,7
50	4,6
63	5,8
75	6,8

Taula 4.32. Diàmetres exteriors i espessors dels tubs.

Per trobar el diàmetre interior que és el que determinarà el tub que s'ajusta a les necessitats, cal:

$$\text{Diàmetre interior} = \text{Diàmetre exterior} - 2 \cdot \text{Espessor} \quad [\text{Equació 4.11.}]$$

D'aquesta manera es té:

Diàmetre exterior (mm)	Gruix paret (mm)	Diàmetre interior (mm)
20	2,0	16,0
25	2,3	20,4
32	3,0	26,0
40	3,7	32,6
50	4,6	40,8
63	5,8	51,4

Taula 4.33. Diàmetres interiors.

Per al tram d'anada:

Tram	Diàmetre teòric (mm)	Diàmetre comercial interior (mm)	Diàmetre comercial exterior (mm)
A-B	35	32,6	40
B-C	31	32,6	40
C-D	28	26,0	32
D-E	26	26,0	32
E-F	25	26,0	32
F-G	16	16,0	20

Taula 4.34. Diàmetre comercial anada.

Per al tram de tornada:

Tram	Diàmetre teòric (mm)	Diàmetre comercial interior (mm)	Diàmetre comercial exterior (mm)
B'-C'	16	16,0	20
C'-D'	25	26,0	32
D'-E'	26	26,0	32
E'-F'	28	26,0	32
F'-G'	31	32,6	40
G'-A'	35	32,6	40

Taula 4.35. Diàmetre comercial tornada.

Comprovació dels nous diàmetres, per tant, potser caldrà modificar-ne algun per tal de no superar les condicions de funcionament i càlcul de les noves pèrdues de càrrega per metre lineal de canonada.

Per al tram d'anada:

Tram	Cabal (l/min)	J (mmcda/m)	Velocitat (m/s)	Diàmetre comercial interior (mm)
A-B	57,12	35	1,1	32,6
B-C	47,6	25	0,9	32,6
C-D	38,08	40	1,1	26,0
D-E	28,56	30	0,85	26,0
E-F	19,54	17	0,60	26,0
F-G	9,52	40	0,8	16,0

Taula 4.36. Característiques anada.

Per al tram de tornada:

Tram	Cabal (l/min)	J (mmcda/m)	Velocitat (m/s)	Diàmetre comercial interior (mm)
B'-C'	9,52	40	0,8	16,0
C'-D'	19,54	17	0,60	26,0
D'-E'	28,56	30	0,85	26,0
E'-F'	38,08	40	1,1	26,0
F'-G'	47,6	25	0,9	32,6
G'-A'	57,12	35	1,1	32,6

Taula 4.37. Característiques tornada.

Les canonades ofereixen una resistència al pas de l'aigua que podem anomenar pèrdues primàries que son funció del seu diàmetre i del cabal de pas.

Per al tram d'anada:

Tram	Longitud (m)	J (mmcda/m)	Pèrdues primàries (mmcda)
A-B	13	35	455
B-C	4,6	25	115
C-D	4,6	40	184
D-E	4,6	30	138
E-F	4,6	17	78,2
F-G	4,6	40	184
Total			1154,2

Taula 4.38. Pèrdues tubs anada.

Per al tram de tornada:

Tram	Longitud (m)	J (mmcda/m)	Pèrdues primàries (mmcda)
B'-C'	6,2	40	248
C'-D'	6,2	17	105,4
D'-E'	6,2	30	186
E'-F'	6,2	40	248
F'-G'	6,2	25	155
G'-A'	28	35	980
		Total	1922,4

Taula 4.39.Pèrdues tubs tornada.

Les pèrdues primàries totals (anada + tornada) són de 3.076,6 mmcda.

Tots els canvis de direcció (colzes, Ts...) així com els accessoris provoquen alteracions en el flux d'aigua i, per tant, pèrdues de carrega que s'anomenen secundàries.

Les pèrdues secundàries produïdes pels accessoris s'han de convertir en pèrdues primàries a partir de les taules de conversió en que s'assigna una longitud equivalent de tub a cada accessori del circuit.

Per tant, s'utilitza el mètode longituds equivalents.

LONGITUDES EQUIVALENTES (M) DE LAS PÉRDIDAS LOCALIZADAS DE CARGA CORRESPONDIENTE A DISTINTOS ELEMENTOS SINGULARES DE LAS REDES HIDRÁULICAS		Diámetros de las tuberías (")											
Clase de resistencia aislada		(mm)											
		3/8 10	1/2 15	3/4 20	1 25	1 1/4 32	1 1/2 40	2 50	2 1/2 65	3 80	4 100	5 125	6 150
	manguito de unión	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,09	0,12	0,15	0,20	0,25
	cono de reducción	0,20	0,30	0,50	0,65	0,85	1,00	1,30	2,00	2,30	3,00	4,00	5,00
	codo o curva de 45°	0,20	0,34	0,43	0,47	0,56	0,70	0,83	1,00	1,13	1,25	1,45	1,63
	curva de 90°	0,18	0,33	0,45	0,60	0,84	0,95	1,27	1,48	1,54	1,97	2,61	3,42
	codo de 90°	0,38	0,50	0,63	0,76	1,01	1,32	1,71	1,94	2,01	2,21	2,94	3,99
	te de 45°	1,02	0,64	0,90	0,96	1,20	1,50	1,80	2,10	2,40	2,70	3,00	3,30
	te arqueada o de curvas (pantalones)	1,50	1,69	1,60	1,92	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,40	6,00	6,60
	te confluencia de ramal (paso recto)	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,20
	te derivación a ramal	1,60	2,50	3,00	3,60	4,10	4,60	5,00	5,50	6,20	6,90	7,70	8,90
	válvula retención de bombeo de pistón	0,20	0,30	0,55	0,75	1,15	1,50	1,90	2,65	3,40	4,85	6,60	8,30
		1,33	1,70	2,32	2,85	3,72	4,67	5,75	6,91	8,40	11,1	12,8	15,4
	válvula retención paso de escuadra	5,10	5,40	5,50	6,50	11,50	13,0	16,5	21,0	23,0	36,0	42,0	51,0
	válvula de compuerta abierta	0,14	0,16	0,21	0,25	0,33	0,44	0,55	0,69	0,81	1,09	1,44	1,70
	válvula de paso recto y asiento inclinado	1,10	1,34	1,74	2,28	2,89	3,44	4,53	5,51	6,49	8,80	10,8	13,1
	válvula de globo	4,05	4,95	5,25	6,25	10,8	13,0	17,0	21,0	25,0	33,0	39,0	47,5
	válvula de escuadra o ángulo (abierta)	1,90	2,55	2,35	4,30	5,60	6,85	8,60	11,1	13,7	17,1	21,2	25,5
	válvula de asiento de paso recto	-	3,40	3,60	4,50	5,65	6,10	9,00	-	-	-	-	-
	intercambiador	-	-	-	2,10	5,00	12,5	13,2	14,2	25,0	-	-	-
	radiador	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50	8,00	10,0
	radiador con valvulería	3,75	4,40	5,25	6,00	6,75	7,50	8,80	10,1	11,4	12,7	14,0	15,0
	caldera	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,75	6,50	7,00	7,50	8,00	10,0
	caldera con valvulería	3,00	4,20	4,90	5,60	6,30	7,00	8,00	8,75	9,50	10,0	11,0	12,0
	contactor general individual o divisionario	4,5 m.c.d.a. 10 m.c.d.a.											

Taula 4.40. Equivalències de longitud dels elements singulars.

CORVA 90º						
Tram/punt	Diàmetre (mm)	Unitats	Longitud eq. unitària (m)	Longitud eq total (m)	J (mmca/m)	J total (mmca)
A-B	32,6	3	0,84	2,52	35	88,2
G	16	1	0,33	0,33	40	13,2
B'	16	1	0,33	0,33	40	13,2
G'-A'	32,6	3	0,84	2,52	35	88,2
					Total	202,8
T						
Tram/punt	Diàmetre (mm)	Unitats	Longitud eq unitària (m)	Longitud eq total	J (mmca/m)	J total (mmca)
B	32,6	1	0,4	0,4	35	14
C	32,6	1	0,4	0,4	25	10
D	26	1	0,3	0,3	40	12
E	26	1	0,3	0,3	30	9
F	26	1	0,3	0,3	17	5,1
C'	26	1	0,3	0,3	17	5,1
D'	26	1	0,3	0,3	30	9
E'	26	1	0,3	0,3	40	12
F'	32,6	1	0,4	0,4	25	10
G'	32,6	1	0,4	0,4	35	14
					Total	100,2
Canvis de secció						
Tram/punt	Diàmetre (mm)	Unitats	Longitud eq unitària (m)	Longitud eq total	J (mmca/m)	J total (mmca)
C	32,6	1	0,85	0,85	25	21,25
F	26	1	0,65	0,65	17	11,05
C'	26	1	0,65	0,65	17	11,05
F'	32,6	1	0,85	0,85	25	21,25
					Total	64,6
					<b>Total</b>	<b>367,6</b>

Taula 4.41. Pèrdues singulars.



Pèrdues de càrrega dels captadors:

Per cada captador passa un cabal de 9,52 l/min, o el que es mateix, 571,2 l/h.

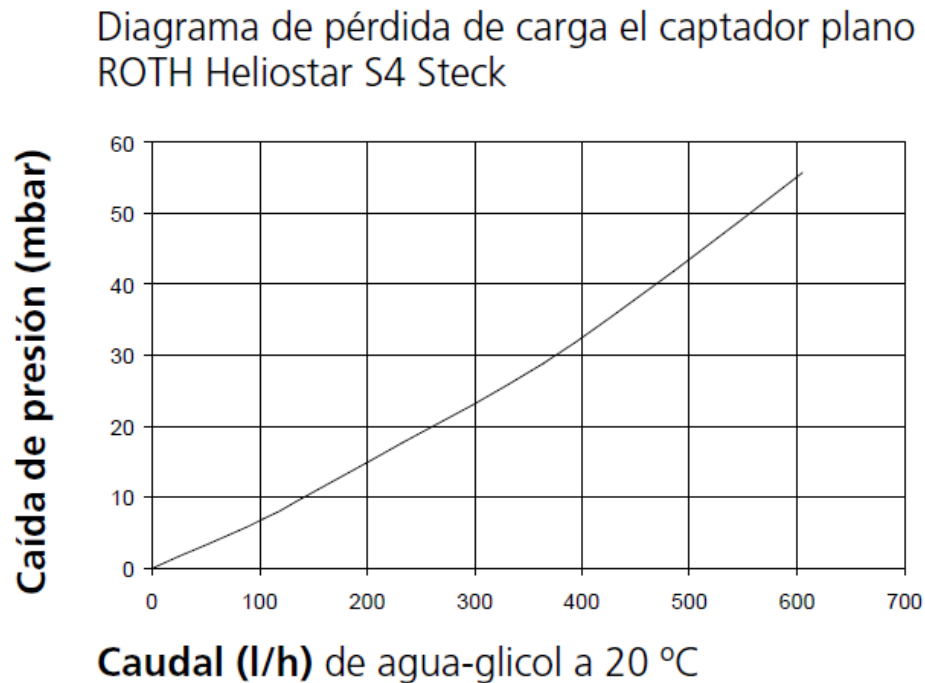


Figura 4.10. Pèrdues dels captadors en funció del cabal.

A partir de la figura anterior es pot treure que cada captador té unes pèrdues d'aproximadament 510 mmca. Això per 30 captadors fa que es tinguin unes pèrdues de 15,3 mca.

#### D. Càlcul de l'intercanviador:

Per instal·lacions que incorporen acumuladors de circuit obert o volums d'acumulació superior a 1.000 litres es recomana la utilització de intercanviadors externs (ubicat fora dels dipòsits o recipients de acumulació).

En aquest estudi emprarem un intercanviador de plaques. Els fluids d'intercanvi circularan a contracorrent ja que aquesta disposició proporciona una eficiència més gran

Algunes característiques d'aquests intercanviadors són:

- El manteniment és molt senzill per ser un element reemplaçable i desmuntable de manera simple.

- El seu ús permet ampliar la potència d'intercanvi d'una instal·lació existent, en ser possible bé augmentar el nombre de plaques de l'element o bé la seva substitució per un altre amb més capacitat.
- Tenen un rendiment acceptable (més gran que els intercanviadors interns).
- El material amb què es fabriquen és d'alta qualitat i durabilitat.
- Extern al dipòsit acumulador
- Alt rendiment d'intercanvi (sistema més eficient)
- Superfície d'intercanvi molt elevada
- Dimensions reduïdes
- Major pèrdua de càrrega
- Disseny a mida de les necessitats
- Necessitat d'incorporar dues bombes a la instal·lació.

Es té:

Cabal total del primari: 3427,2 litres/hora = 57,12 l/min

Superfície de captació: 68 m<sup>2</sup>

Segons IDAE la potència mínima ha de ser:

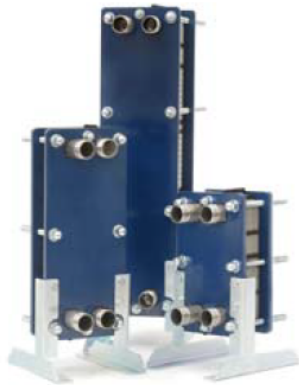
$$P \geq 500 \cdot A \quad D = k \cdot h \quad \text{[Equació 4.12.]}$$

On A és l'àrea de captació. Per tant:

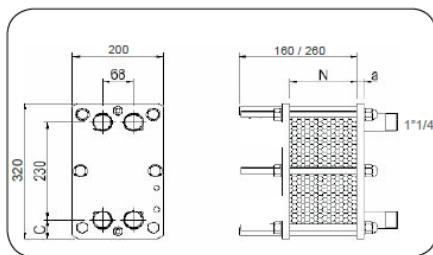
$$P \geq 500 \cdot 68 = 34000 \text{ W} = 34 \text{ kW}$$

Per tant el intercanviador triat haurà de ser un intercanviador de plaques aigua glicorada, aigua dissenyat per, a partir d'energia solar, obtenir ACS i amb una potència mínima superior a l'anteriorment calculada.

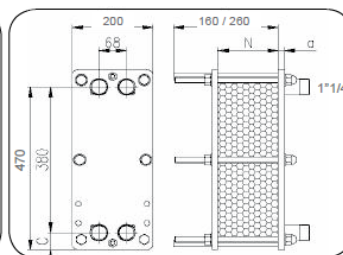
S'escolleix un intercanviador de plaques de la marca Cipriani model S-020 amb una potència d'intercanvi de 40 kW.



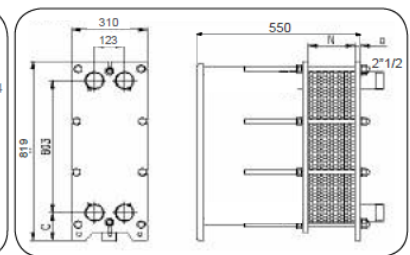
SOLAR - ACS								
PRIMARIO 60°C-50°C/SECUNDARIO 15°C - 45°C AGUA GLICOLADA 30% / AGUA								
MODELO	Nº PLACAS	POTENCIA KW	Nº PANELES SOLARES	m² PANEL	PRIMARIO		SECUNDARIO	
					CAUDAL	PERD. CARGA	CAUDAL	PERD. CARGA
					m³/h	m.c.a.	m³/h	m.c.a.
S-020	7	5	3	8	0,464	0,186	0,144	0,0191
S-020	7	10	7	17	0,928	0,692	0,287	0,0692
S-020	9	15	10	25	1,39	0,869	0,431	0,0866
S-020	9	20	14	33	1,86	1,5	0,574	0,149
S-020	11	25	17	42	2,32	1,51	0,718	0,15
S-020	13	30	21	50	2,78	1,52	0,862	0,15
S-020	13	35	24	58	3,25	2,04	1,03	0,201
S-020	15	40	28	67	3,71	1,97	1,15	0,195
S-020	15	45	31	75	4,18	2,47	1,29	0,243
S-020	17	50	35	83	4,64	2,36	1,44	0,232
S-020	19	60	42	100	5,57	2,69	1,72	0,265
S-020	23	70	49	117	6,5	2,51	2,01	0,247
S-020	25	80	56	133	7,42	2,78	2,3	0,273
S-020	29	90	63	150	8,35	2,65	2,59	0,26
S-020	31	100	69	167	9,28	2,88	2,87	0,282
S-020	39	120	83	200	11,1	2,75	3,45	0,27
S-020	45	140	97	233	13	2,94	4,02	0,288
S-125 MB0	19	160	111	267	14,8	2,66	4,6	0,249
S-125 MB5	21	180	125	300	16,7	2,9	5,17	0,272
S-125 MB0	23	200	139	333	18,6	2,79	5,74	0,261
S-125 MB0	25	220	153	367	20,4	2,72	6,32	0,255



Modelo 020



Modelo 040



Modelo 125

Figura 4.11. Fitxa tècnica de l'intercanviador.

Treballant en condicions optimes aquest bescanviador tindrà al primari un cabal de  $3,71 \text{ m}^3/\text{h}$  i unes pèrdues de càrrega de  $1,97 \text{ mca}$  i en el secundari un cabal de  $1,15 \text{ m}^3/\text{h}$  i unes pèrdues de càrrega de  $0,195 \text{ mca}$ .

## E. Càlcul dels circuladors.

### E.1. Circuit primari

El disseny de la instal·lació pot afavorir l'efecte termosifó, i el fet que l'aigua calenta es tendeixi a col·locar sobre de l'aigua freda, pot ser suficient com per dotar al fluid del moviment necessari. No obstant això el efecte termosifó es produeix en condicions molt concretes i aquestes no sempre es donaran en el tipus d'instal·lacions estudiades. En els casos en què aquestes condicions no es donen, s'ha de subministrar d'alguna manera, energia al fluid perquè aquest segueixi en moviment. Això s'aconsegueix amb una bomba o electrocircular.

Així, l'energia subministrada al fluid per la bomba, li permetrà vèncer la resistència que troba en circular per les canonades del circuit. Per norma, en instal·lacions que compten amb més de  $10 \text{ m}^2$  de captació corresponent a un sol circuit primari, aquest serà de circulació forçada.

L'electrocirculador al circuit primari s'ha de col·locar a la sortida del bescanviador, on el líquid caloportador està més fred, si pot ser a la part baixa en trams de canonada vertical, per reduir els seus esforços, però sense estar en la part inferior del tot per evitar danys per residus.

Sempre que sigui possible, les bombes en línia es muntaran a les zones més fredes del circuit, tenint en compte que no es produeixi cap tipus de cavitació i sempre amb l'eix de rotació en posició horitzontal.

Els materials de la bomba del circuit primari seran compatibles amb les mescles anticongelants i en general amb el fluid de treball utilitzat, però al seu vegada, per raons de seguretat i higiene, aquests materials han de ser resistent a la corrosió.

El tipus d'electrocirculador que s'utilitza en les instal·lacions d'energia solar és l'electrocirculador centrífug, que està compost pels següents elements:

- Orifici d'aspiració: Lloc per on entra el líquid a l'electrocirculador.
- Rodet impulsor: És l'element rotatiu.
- Càmera d'impulsió: És l'element que recull el líquid i el condueix a la descàrrega de l'electrocirculador.
- Orifici d'impulsió: Lloc per on s'expulsa el líquid de l'electrocirculador.
- Aspiració: Boca de contacte entre l'electrocirculador i la canonada.
- Difusor: Conduïte de sortida del líquid dins de l'electrocirculador.
- Àleps: Pales del rodet impulsor. Poden ser tancades o obertes.

El líquid entra l'electrocirculador per l'orifici d'aspiració que troba en el centre del rodet, sent aspirat i portat fins als àleps. el fluid caloportador guanya energia cinètica al rodet causa del moviment de rotació produït per l'eix d'un motor elèctric. Els àleps desprenen tangencialment el fluid mitjançant la seva força centrífuga i el condueixen cap a la càmera de pressió. El fluid pressuritzat és encaminat des de la càmera de pressió cap a l'orifici d'impulsió i, a través del difusor, fins a l'exterior.

Per al dimensionament de les bombes cal conèixer:

- El cabal
- La pèrdua de càrrega de tots els elements del circuit.

La pèrdua de càrrega la facilita el fabricant per un sol captador solar i, en alguns casos, per combinacions típiques de captadors en funció del connexionat i de les característiques del fluid.

En instal·lacions superiors a 50 m<sup>2</sup> de captació es muntaran dues bombes idèntiques en paral·lel, deixant una de reserva, tant al circuit primari com en el secundari.

Per tant la bomba circuladora del circuit primari tindrà un punt de funcionament:

Cabal:  $57,12 \text{ l/minut} = 3,43 \text{ m}^3/\text{h}$

Columna d'aigua a compensar:  $15,3 + 1,154 + 1,922 + 0,367 + 1,97 = 20,713 \text{ mca.}$

### CENTRÍFUGA MULTICELULAR "Serie UC"



Código	Artículo	Int. (A)	CV
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales: Cuerpo bomba: H° F° G-25 Tapa aspiración: H° F° G-25 Turbina y difusores: Noryl con carga de fibra de vidrio Camisa y eje: acero inox. AISI-416 Cierre mecánico: cerámica grafito</li> <li>• Altura máxima de aspiración: 7 m.c.a.</li> <li>• Adecuado para grupos de presión hidroneumáticos, riegos, transvases, servicios generales, etc.</li> <li>• Monofásicas</li> </ul>		
EB 10 010	MCP-3	3,9	0,75
EB 10 012	MCP-4	4,5	1,00
EB 10 014	MCP-5	5,5	1,50

Tipo	CV	Tensión V	Amp.	Caudal m³/h								
				0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,4	3,8	4,2	4,6
				Altura m.c.a.								
MCP-3	0,75	1x230	3,9	35	32	28	24	22	19	16	13	9
MCP-4	1	1x230	4,5	45	40	37	33	30	23	22	19	15
MCP-5	1,5	1x230	5,5	55	50	45	42	38	30	26	24	18

Figura 4.12. Fitxa tècnica del circulador del primari.

#### E.2. Circuit secundari

Aquest circuit uneix el bescanviador amb el dipòsit d'acumulació.

Seguint el mateix sistema que pel circuit primari (àbacs de càlcul de pèrdues de càrrega), s'acaba obtenint:

- Longitud circuit = 12m
- Diàmetre nominal exterior comercial = 40 mm
- 

Pèrdues de càrrega circuit secundari (primàries i singulars) =  $20 \text{ mmcda} \cdot 12 = 240 \text{ mmcda}$

Segons la fitxa tècnica del bescanviador:

Cabal secundari =  $1,15 \text{ m}^3/\text{h}$

Pèrdues de càrrega =  $0,195 \text{ mca}$

Cabal:  $1,15 \text{ m}^3/\text{h}$

Columna d'aigua a compensar:  $0,435 \text{ mca.}$

Per tant, el circulador serà el model Roca PC-1025 funcionant en la corba 1:

### PC-1025

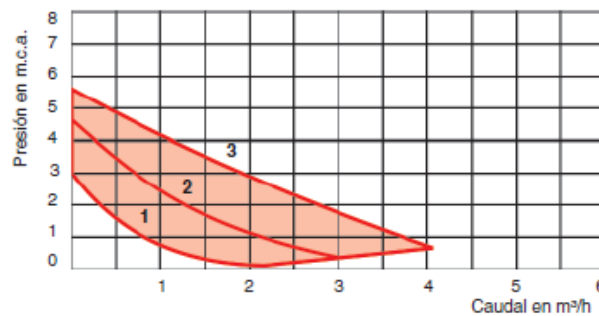


Figura 4.13. Fitxa tècnica del circulador del secundari.

### F. Càlcul del vas d'expansió

La seva finalitat és la d'absorbir les dilatacions del fluid caloportador, per la qual cosa totes les instal·lacions d'aigua calenta sanitària s'han d'equipar amb dipòsits d'expansió. Quan creix la pressió en la instal·lació a causa de la dilatació del fluid caloportador, el fluid sobrant entra al vas i empeny a la membrana. El gas es comprimeix, evitant variacions de pressió.

Entre els vasos d'expansió oberts o tancats, es tria un vas d'expansió tancat ja que són més pràctics i comuns, i també més econòmics.

Així doncs, el vas d'expansió tancat és un recipient tancat format per dos semicossos fabricats per embotició i soldats entre si. Al semicòs inferior hi ha una vàlvula per controlar la pressió a l'interior del vas. entre els dos semicossos es col·loca una membrana interior que sol ser de cautxú sintètic i que separa l'aire i el líquid.

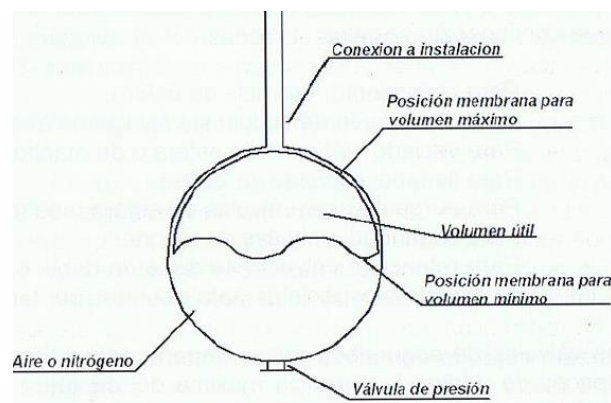


Figura 4.14. Esquema d'un vas d'expansió.

El vas d'expansió del primari haurà de compensar el volum del fluid termòfor a tot el grup de captadors, incloent-hi les canonades (a més d'altres elements com per exemple el bescanviador de l'acumulador) mes un 10%; es a dir, un 110% del volum total del circuit primari.

Volum en els tubs

Anada

Tram	Diàmetre comercial interior (mm)	litres/metre lineal	Longitud (m)	Volum (litres)
A-B	32,6	0,83	13	10,85
B-C	32,6	0,83	4,6	3,84
C-D	26	0,53	4,6	2,44
D-E	26	0,53	4,6	2,44
E-F	26	0,53	4,6	2,44
F-G	16	0,2	4,6	0,92
			Total	22,94

Taula 4.42. Pèrdues singulars.

Tornada

Tram	Diàmetre comercial interior (mm)	litres/metre lineal	Longitud (m)	Volum (litres)
B'-C'	16	0,2	6,2	1,25
C'-D'	26	0,53	6,2	3,29
D'-E'	26	0,53	6,2	3,29
E'-F'	26	0,53	6,2	3,29
F'-G'	32,6	0,83	6,2	5,18
G'-A'	32,6	0,83	6,2	23,27
			Total	39,67

Taula 4.43. Pèrdues singulars.

- Volum total tubs = 62,61 litres

- Volum de fluid els col·lectors

Número de col·lectors: 30

Volum per col·lector: 1,16 litres

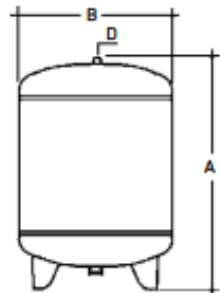
Volum de fluid en els col·lectors =  $30 \cdot 1,16 = 34,8$  litres

- Volum en el circulador: 0.4 litres

- Volum dels intercanviador de plaques: 1,5 litres
- Volum total:  $62,61 + 34,8 + 0,4 + 1,5 = 99,31$  litres

Volum del vas d'expansió =  $VA \cdot 1,1 = 99,31 \cdot 1,1 = 109,24$  litres .

Es tria el model Baxi Vasoflex de 140 litres de capacitat.



		140		
Presión de llenado	bar	0,5	1	1,5
Capacidad	l	140	140	140
A	mm	952	952	952
B	Ø	484	484	484
D		1"	1"	1"
Peso	kg	33,5	33,5	33,5
Máx. presión trabajo	bar	6	6	6
Temp. máx. de trabajo	°C	110	110	110

Figura 4.15. Esquema d'un vas d'expansió.

G. Aïllament dels tubs:

Cal no oblidar que tant les canonades com els accessoris hidràulics del sistema de circulació d'una instal·lació solar tèrmica mantenen temperatures superiors a la de l'ambient, pel que és inevitable que es produeixi una pèrdua de calor en el sistema, ja sigui per conducció, per convecció o per radiació. És per això que han d'estar convenientment aïllades i així evitar un menor rendiment de la instal·lació a conseqüència d'aquestes pèrdues tèrmiques.

Per a l'aïllament s'utilitzarà una camisa aïllada cilíndrica modelada de llana de vidre.

Segons el RITE, els guixos d'aïllament en mm de tubs i accessoris que transporten fluids calents i que recorren per l'exterior d'edificis ha de ser el que indica la taula



Diàmetre exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido ( °C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

**Taula 4.44. Pèrdues singulars.**

Per tant, per als cada tipus de tub es tindrà l'aïllament que la taula determini

	Diàmetre interior (mm)	Diàmetre exterior (mm)	Gruix aïllament (mm)
Anada	32,6	40	40
	26	32	35
	16	20	35
Tornada	32,6	40	40
	26	32	35
	16	20	35

**Taula 4.45. Aïllament tubs.**

H. Altres elements:

El circuit primari ha de tenir una vàlvula de seguretat amb descàrrega conduïda a desguàs. La pressió de taratge serà de 3 kg/cm<sup>2</sup>. Al costat de la vàlvula de seguretat s'instal·larà un manòmetre que permeti verificar la pressió del circuit.

En el traçat de les canonades es tractarà d'evitar la formació de punts alts que puguin provocar la formació de bosses d'aire que dificultin la circulació del fluid. S'instal·laran 6 purgadors d'aire, un per cada grup de col·lectors, en els punts alts.

En el circuit primari s'instal·larà una vàlvula antiretorn de clapeta a la impulsió de la bomba de circulació, per evitar l'eventual circulació inversa durant la nit.

#### 4.4. Caldera de biomassa

Un cop dimensionat el camp de col·lectors i la instal·lació solar, cal conèixer quina fracció energètica falta per cobrir.

Fins ara es té:

Simplement cal restar a l'energia total requerida, l'energia que es cobreixi per la part de captació solar.

Mes	Total (kWh/mes)	Energia solar obtinguda (kWh/mes)	Energia a obtenir a partir de la biomassa (kWh/mes)
Gener	74.811,95	1.565,12	73.246,83
Febrer	64.635,72	2.960,20	61.675,52
Març	51.833,35	5.119,88	46.713,47
Abril	38.554,30	5.200,41	33.353,90
Maig	28.050,25	6.204,86	21.845,40
Juny	14.214,79	6.264,52	7.950,27
Juliol	11.489,77	6.722,26	4.767,51
Agost	11.028,24	6.579,43	4.448,81
Setembre	15.414,33	5.452,69	9.961,64
Octubre	26.852,47	4.423,73	22.428,74
Novembre	50.840,81	2.297,22	48.543,59
Desembre	75.426,10	1.163,03	74.263,06
<b>Total</b>	<b>463.152,06 (100%)</b>	<b>53.953,34 (11,65%)</b>	<b>409.198,72 (88,35%)</b>

Taula 4.46. Energia a obtenir de la biomassa.

En resum:

	Necessitats energètiques (kWh)	Energia solar (kWh)	% energia solar	Energia biomassa(kWh)	% energia biomassa
ACS	88.389,49	53.953,34	61,04%	34.436,15	38,96 %
Rest a de demanda	374.762,57	0	0 %	374.762,57	100 %
<b>Total</b>	<b>463.152,06</b>	<b>53.953,34</b>	<b>11,65 %</b>	<b>409.198,72</b>	<b>88,35 %</b>

Taula 4.47. Resum.

La taula anterior fa un balanç general de l'origen i el destí de l'energia produïda. S'acaba obtenint que en total s'hauran de produir 409.198,72 kWh amb biomassa, per cobrir les necessitats requerides.

Una part d'aquesta energia produïda amb biomassa serà el suport dels captadors solars en la producció d'ACS (34.436,15 kWh) i l'altra part anirà destinada a la producció d'energia tèrmica per calefacció de l'edifici (374.762,57 kWh).

#### A. Elecció del tipus de biomassa:

Es calcula quants m<sup>3</sup> de gas natural es necessiten per obtenir els 409.198,72 kWh que haurà de cobrir la biomassa. Per això es necessita el seu PCI i el rendiment de la caldera.

Rendiment caldera: 0,9

PCI propà: 10,83 kWh/Kg

Per tant: m<sup>3</sup> gas natural = 409.198,72 kWh / 10,83 kWh/m<sup>3</sup> gas natural / 0,9 = 41.982 m<sup>3</sup> gas natural.

Aquesta quantitat es la que determinarà la quantitat de biomassa que es necessitarà fent la corresponent conversió.

Per continuar cal veure quant costa un m<sup>3</sup> de gas natural. Se sap segons tarifes de l'any 2016 que el preu del kWh de gas natural es de 0,04939 €. Per tant si per cada m<sup>3</sup> s'obtenen 10,83 kWh (PCI), el preu d'un metre cúbic serà:

$$0,04939 \text{ €/kWh} \times 10,83 \text{ kWh/m}^3 = 0,535 \text{ €/m}^3$$

S'estudiaran dos tipus de biomassa:

- Pèl·let certificat
- Estella d'alzina

Pèl·let certificat:

	Gas natural	Pèl·let certificat
Preu combustible	0,535 €/m <sup>3</sup>	210 €/Tn
Consum	41.982 m <sup>3</sup>	83.718 Kg
Rendiment (%)	90	93
Pèrdues	4.198,2 (m <sup>3</sup> /any)	9.024 (Kg/any)
Pèrdues (€/any)	2.246,04	120,65
Poder calorífic	9.303 (Kcal/m <sup>3</sup> )	4.950 (Kcal/Kg)
Energia consumida (kWh)	454.666	439.999
Energia efectiva (kWh)	409.199	409.199
Cost anual (€)	22.460,37	16.054,05
Cost energia (€/kWh)	0,055	0,039
Diferència (€)	6.406,32 € (29%)	

Taula 4.48. Estudi pèl·lets.

Estella d'alzina:

	Gas natural	Estella d'alzina
Preu combustible	0,535 €/m <sup>3</sup>	80 €/Tn
Consum	41.982 m <sup>3</sup>	108.119 Kg
Rendiment (%)	90	93
Pèrdues	4198,2 (m <sup>3</sup> /any)	7568 (Kg/any)
Pèrdues (€/any)	2.246,04	605,47
Poder calorífic	9.303 (Kcal/m <sup>3</sup> )	3.500 (Kcal/Kg)
Energia consumida (kWh)	454.666	439.999
Energia efectiva (kWh)	409.199	409.199
Cost anual (€)	22.460,37	8.649,53
Cost energia (€/kWh)	0,055	0,021
Diferència (€)	13.810,84 € (61%)	

Taula 4.49. Estudi estella.

Veient les taules comparatives anteriors se'n poden treure les següents conclusions:

El pèl·let certificat té un poder calorífic més elevat ja que els petits encenalls de fusta que el configuren estan premsats. A més la seva humitat és més baixa que la de l'estella d'alzina. Per tant, el pèl·let té més densitat i un rendiment per Kg més gran.

Quan el pèl·let està emmagatzemat no necessita cap mena de control ja que està tractat i té molt poca humitat. En canvi, l'estella d'alzina, que no deixa de ser més que fusta esmicolada, té un comportament semblant al que podria tenir per exemple el sucre. Si es deixa emmagatzemada, la fusta perdrà humitat, la qual cosa farà que els petits trossos s'ajuntin formant una mena de terròs. Això pot dificultar l'entrada del combustible a la caldera i per tant s'hauran de col·locar uns remenadors mecànics en la sitja d'emmagatzematge.

Hi ha però, dos motius principals que faran que ens decanem per l'estella en front del pèl·let.

Primer, encara que la quantitat d'estella requerida hagi de ser més gran per cobrir les mateixes necessitats, el preu per tona d'aquesta es molt inferior al del pèl·let (80 €/Tn i 210 €/Tn respectivament) i al final, l'estalvi que s'obté amb l'alzina és més gran.

Segon, el pèl·let ocupa menys espai per quilo i és més net, és ideal per exemple per cases, on l'espai d'emmagatzematge és moltes vegades reduït. L'espai no és un problema al per l'edifici que estem tractant i per tant l'estella d'alzina n'és una bona solució.

## B. Dimensionat de les calderes

Per dimensionar les calderes cal saber, a partir de les dades de consum, quina és la potència mitjana. Aquesta potència és calcularà a partir de la resta de l'energia solar obtinguda a l'energia total requerida. Es considera que les calderes funcionaran un total de 10 hores equivalents al dia.

La taula següent mostra l'energia que haurà de cobrir la biomassa mes a mes i la potència mitjana de subministre:

Mes	Demanda energètica	Energia biomassa (kWh/mes)	Potència mitjana biomassa (kW)
Gener	74.811,95	73.246,83	236,28
Febrer	64.635,72	61.675,52	220,27
Març	51.833,35	46.713,47	150,69
Abril	38.554,30	33.353,90	111,18
Maig	28.050,25	21.845,40	70,47
Juny	14.214,79	7.950,27	26,50
Juliol	11.489,77	4.767,51	15,38
Agost	11.028,24	4.448,81	14,35
Setembre	15.414,33	9.961,64	33,21
Octubre	26.852,47	22.428,74	72,35
Novembre	50.840,81	48.543,59	161,81
Desembre	75.426,10	74.263,06	239,56
Total	463.152,06	409.198,72	

**Taula 4.50. Determinació de la potència a aportar per les calderes de biomassa.**

És veu que el més desfavorable, en que la demanda és més gran, per tant, es seleccionaran les calderes treballant en base a aquest més.

La potencia mitjana del més de desembre que ha de subministrar la biomassa és de 239,56 kW, però aquesta variarà en funció de paràmetres com la temperatura exterior o l'ocupació de l'edifici.

S'estima que la demanda màxima de potencia pot arribar a ser un 10 % superior a la mitjana (degut bàsicament condicions climàtiques extremes) és a dir, pot arribar a ser de 263,516 kW. No cal fer les calderes més grans. Es pot solucionar fent funcionar les calderes durant més hores o, en un cas límit, en gegant el sistema de gas que es deixarà.

Per tant, per cobrir aquesta demanda és col·locaran dues calderes en sèrie una de 180kW i l'altra de 90kW en sèrie i fent un by-pass entre elles, podent subministrar així una potència nominal de 270kW.

La caldera de biomassa, així com el dipòsit per a l'estella es pot instal·lar en diferents punts dins del que abarca el propi edifici. No entra dins de l'abast del projecte el càlcul tant d'un possible edifici com de la implementació de la instal·lació.

## 5. Estudi de viabilitat econòmica

Es presenta a continuació el resum de pressupost.

Capítol	Resum	Import	%
C1	Subministrament i instal·lació de les calderes de biomassa	71.698,00	66,43%
C2	Subministrament i instal·lació de plaques solars	20.760,00	19,24%
C3	Subministrament i instal·lació de suports i vàlvules de les plaques solars	2.150,00	1,99%
C4	Subministrament i instal·lació de tubs i aïllament	5.310,80	4,92%
C5	Subministrament i instal·lació de dipòsits acumuladors	6.080,64	5,63%
C6	Subministrament i instal·lació de bombes hidràuliques	1.203,50	1,12%
C7	Subministrament i instal·lació de dipòsits d'expansió	296,00	0,27%
C8	Subministrament i instal·lació de bescanviador de plaques	428,78	0,40%
<b>Total execució material</b>		<b>107.927,72</b>	
	13,00 % despeses generals - 14.030,60		
	6,00 % benefici industrial - 6.475,66		
	Suma de DG i BI	20.506,26	
<b>Total execució material, DG i BI</b>		<b>128.433,98</b>	
	21 % IVA	26.971,14	
<b>Total pressupost IVA inclòs</b>		<b>155.405,12</b>	

Aquest es el resum de pressupost de la instal·lació que engloba l'abast d'aquest projecte. Els preus dels diferents capítols del mateix s'han obtingut a partir de catàlegs dels diferents fabricants i a partir del generador de preus del CYPE **[Ref.8]**.

Els preus inclouen tots els elements que es requereixen pera la instal·lació dels elements com ara elements de connexió, vàlvules, elements de control i regulació, etc. També s'inclou el preu de la mà d'obra per a la instal·lació i s'indica també els percentatge respecte el preu total d'execució material de cadascun dels capítols.

## AVALUACIÓ ECONÒMICA

COST	ANY 0	ANY 1	ANY 2	ANY 3	ANY 4	ANY 5	ANY 6	ANY 7	ANY 8	ANY 9	ANY 10
Gas natural		22.460,37	23.134,18	23.828,21	24.543,05	25.279,34	26.037,72	26.818,86	27.623,42	28.452,12	29.305,69
Estella alzina 10%	128.433,00	8.639,08	8.898,26	9.165,20	9.440,16	9.723,36	10.015,06	10.315,52	10.624,98	10.943,73	11.272,04
COST ACUMULAT	ANY 0	ANY 1	ANY 2	ANY 3	ANY 4	ANY 5	ANY 6	ANY 7	ANY 8	ANY 9	ANY 10
Gas natural		22.460,37	45.594,55	69.422,76	93.965,81	119.245,15	145.282,88	172.101,74	199.725,16	228.177,28	257.482,97
Estella alzina 10%	128.433,00	137.072,08	145.970,34	155.135,54	164.575,70	174.299,07	184.314,13	194.629,65	205.254,63	216.198,36	227.470,41
Diferència	-128.433,00	-114.611,71	-100.375,79	-85.712,78	-70.609,89	-55.053,91	-39.031,25	-22.527,91	-5.529,47	11.978,92	30.012,57

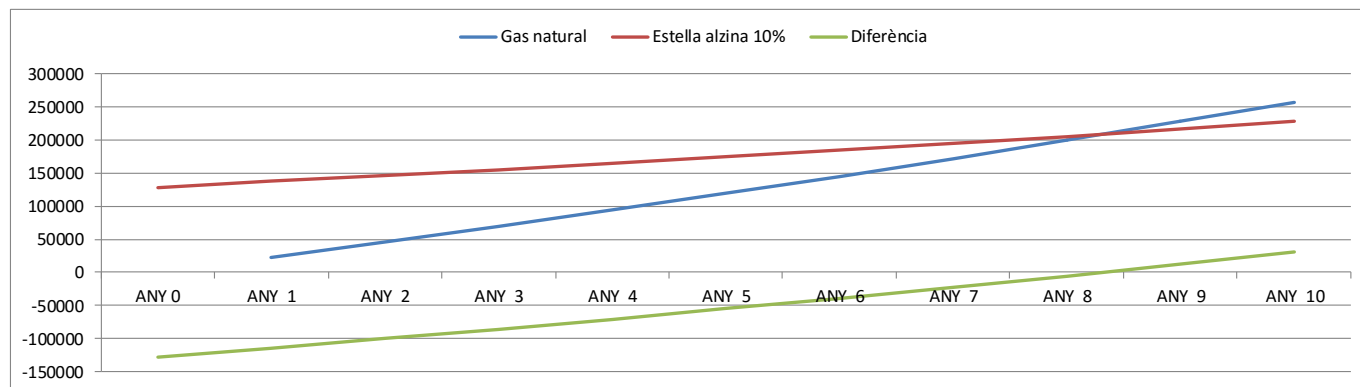


Figura 5.1. Avaluació econòmica de la instal·lació.

La inversió inicial es recupera al final del 8é any d'implementació dels canvis proposats.

## 6. Impacte ambiental

Aquesta és una instal·lació que pretén reduir el màxim les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera.

La instal·lació solar, en si mateixa, no representa cap risc per el medi ambient. Si bé es cert que durant la pròpia fabricació dels capadors solars, tubs, calderes de biomassa i la resta d'elements de la instal·lació hi ha hagut un impacte mediambiental, amb l'emissió de gasos d'efecte hivernacle.

La utilització de la biomassa pura com a combustible té unes emissions considerades neutres, en el sentit que el CO<sub>2</sub> emès en la combustió ha estat absorbit prèviament de l'atmosfera. Per tant, s'aplicarà a la biomassa pura un factor d'emissió de zero. Perquè això és compleixi cal que la biomassa sigui de proximitat i que el transport (procés en el qual s'emet CO<sub>2</sub>) d'aquesta no excedeixi els 100 kilòmetres aproximadament.

Amb la utilització del gas natural, les emissions de CO<sub>2</sub> són:

- Emissions de CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> de gas natural: 2,15 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> de gas natural

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN
Gas natural (m <sup>3</sup> )	2,15 kg CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> de gas natural
Gas butano (kg)	2,96 kg CO <sub>2</sub> /kg de gas butano
Gas butano (número de bombonas)	37,06 kg CO <sub>2</sub> /bombona (considerando 1 bombona de 12,5 kg)
Gas propano (kg)	2,94 kg CO <sub>2</sub> /kg de gas propano
Gas propano (número de bombonas)	102,84 kg CO <sub>2</sub> /bombona (considerando 1 bombona de 35 kg)
Gasoil (litros)	2,79 kg CO <sub>2</sub> /l de gasoil <sup>8</sup>
Fuel (kg)	3,05 kg CO <sub>2</sub> /kg de fuel
GLP genérico (kg)	2,96 kg CO <sub>2</sub> /kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	2,30 kg CO <sub>2</sub> /kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	2,53 kg CO <sub>2</sub> /kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	3,19 kg CO <sub>2</sub> /kg de coque de petróleo

Taula 6.1. Factors d'emissió per a diferents combustibles. (Guia pràctica pera el càlculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), març 2011) [Ref. 9].



- Consum de gas propà: 46.898 m<sup>3</sup> anuals

- Emissions de CO<sub>2</sub> amb instal·lació actual: 100,8 tones CO<sub>2</sub> anuals

Per tant, es pot dir que amb la solució proposada, les emissions de CO<sub>2</sub> a l'atmosfera passen a ser 0 o pràcticament 0, sense comptar tot el procés de producció i instal·lació dels elements.

## 7. Conclusions

La instal·lació que planteja el projecte la implementació d'una sèrie de millores o canvis en la via d'obtenció d'energia tèrmica a través de la utilització d'energies renovables. Projectes d'aquest tipus cada cop s'estan duent a terme amb més freqüència. No només la societat cada cop es més conscient dels problemes que comporta l'utilització incontrolada de mitjans no renovables per aquest i en tots els aspectes, sino que les energies renovables son vistes cada cop més com una manera d'estalvi respecte l'utilització de fonts convencionals.

El projecte compleix amb els objectius establerts, d'implementació d'energies renovables en substitució de les convencionals. Plantejant primerament la situació inicial des de la qual es parteix i explicant tot el procés fins a arribar a la solució final proposada.

A nivell tècnic s'ha dir que per a que el projecte fos més interessant econòmicament no s'hauria de tenir en compte la instal·lació d'un camp de col·lectors solars. Doncs els cost d'implementació d'aquest per la proporció d'energia obtinguda no és tan rentable com si només es tingués només el sistema de biomassa. Cal dir però que es tracta d'un projecte acadèmic on s'han de demostrar una sèrie de coneixements i criteris adquirits, més enllà de la pròpia viabilitat econòmica del projecte. Caldria veure si amb l'edifici que s'hauria de fer per a les calderes de biomassa i emmagatzematge de biocombustible, la instal·lació de tubs, bombes i altres elements hidràulics, seria viable.

## 8. Referències

- [1] IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía). Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. Gener 2009.
- [2] ITC 10.1 del RITE. Producción de ACS mediante sistemas solares activos.
- [3] ICAEN (Institut Català de l'Energia). Atles de radiació solar de Catalunya. 2000.
- [4] CTE (Codigo Técnico de la Edificación) DB-HE. 2013.
- [5] ICAEN. Energia solar tèrmica. Quadern pràctic número 3. 2009
- [6] AENOR. UNE-EN 12975. Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares. Parte 1: Requisitos generales. 2011.
- [7] AENOR. UNE 53-131. Plásticos : tubos de polietileno para conducciones de agua a presión: medidas y características. 1982.
- [8] Generador de preus de CYPE. <http://www.generadordeprecios.info/>
- [9] Oficina Catalana del Canvi Climàtic. Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). 2011.